



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JUHA RISULAHTI  
TIETOMALLIPOHJAINEN RAKENNESUUNNITTELU JA LÄHTÖ-  
TIETOJEN SELVITYS KORJAUSRAKENNUSKOHTEESSA

Diplomityö

Tarkastaja: Professori Mikko Malaska  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Talouden ja Rakentamisen tiedekun-  
taneuvoston kokouksessa 8. kesä-  
kuuta 2016

## TIIVISTELMÄ

**JUHA RISULAHTI:** Tietomallipohjainen rakennesuunnittelu ja lähtötietojen selvitys korjausrakennuskohteessa  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Diplomityö, 81 sivua  
Elokuu 2016  
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Rakennesuunnittelu  
Tarkastaja: Professori Mikko Malaska

Avainsanat: Tietomallintaminen, Korjausrakennesuunnittelu, Rakennusmittaukset.

Vaikka Suomen rakennuskanta on vielä nuorta, joudutaan suurimpaan osaan rakennuksista tekemään perusparannuksia ja päivityksiä rakennuksen elinkaaren aikana. Korjausrakentamisesta onkin lähitulevaisuudessa tulossa merkittävä osa rakentamista ja sillä tulee olemaan suuri merkitys Suomen rakennuskannan ylläpidossa. Rakennusten tietomallipohjaisen korjaussuunnittelun tarve tulee lisääntymään korjausrakentamisen kasvun mukana. Tietomallipohjainen rakennesuunnittelu ei ole vielä kovin yleistä korjausrakentamisessa ja tietomallintaminen on keskittynyt vahvasti uudisrakennesuunnitteluun.

Tämän diplomityön tarkoituksena on tutkia tietomallipohjaista rakennesuunnittelua ja lähtötietomallin muodostamista korjausrakennuskohteessa. Tutkimuksessa käydään myös läpi, miten olemassa olevien rakenteiden materiaalitietoja voidaan esittää tietomallissa ja miten uudet rakenteet voidaan sovittaa olemassa oleviin rakenteisiin tietomallipohjaisesti.

Tutkimus jakautuu kolmeen osa alueeseen. Ensimmäisessä osassa (luku 2) käydään läpi korjausrakentamisen, tietomallintamisen ja olemassa olevien rakenteiden selvitystekniikoita kirjallisuustutkimuksen avulla. Toisessa osassa (luku 3) tekniikoita sovelletaan tutkimuksen Case-kohteena käytetyn liike- ja toimitilarakennuksen rakennesuunnitteluun ja rakentamiseen. Kolmannessa osassa (luku 4) esitellään tutkimuksen aikana saadut tulokset ja havainnot.

Tutkimuksen tuloksena saatiin hyvä käsitys tietomallipohjaisen korjausrakennesuunnittelun toteutuksesta aina lähtötietomallin luomisesta valmiiseen tietomalliin. Korjausrakennesuunnittelusta on vielä vähän kokemuksia ja toimintatavat tulevat kehittymään. Tutkimuksessa selvisi, että lähtötietomallin huolelliseen tekemiseen tulee kiinnittää huomiota, sillä mallin laatu vaikuttaa lähes koko suunnittelun työmäärään ja tarkkuuteen.

## ABSTRACT

**JUHA RISULAHTI:** Building information modeling and initial data gathering in structural rehabilitation projects

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 81 pages

August 2016

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Structural Design

Examiner: Professor Mikko Malaska

**Keywords:** Bim, Building information model, Rehabilitation design, Construction surveying.

Despite the fact that Finnish housing stock is still quite young, a large majority of the buildings will need renovation and upgrade during the building life cycle. In the near future renovation sector is becoming an important part of the building construction markets and the renovation construction has a significant role in maintaining the value of buildings. There will also be a growing demand for Building Information Model (BIM) -based renovation design and planning of construction work. However, the use of BIM today is strongly focused on new buildings and it is not very commonly used in renovation projects.

The aim of this thesis is to investigate the formation of BIM-based structural design and inventory model in a renovation project. The research will also analyze how material information of existing structures can be represented using an inventory model and how new structures can be adapted to existing structures in BIM.

The research is divided into three sub section areas. Based on a literature review the first part (Chapter 2) presents site surveying and renovation techniques available for the BIM-process. In the second part (Chapter 3) the digital surveying methods and BIM applications are applied to the structural design of an existing renovation project. The results and findings of the research are presented in the third part (Chapter 4).

The results of this research provided useful information to support the implementation of BIM-based design process from the site measurements and investigations for inventory model to the detailed building information model for construction and procurement. At present there is not much experience of using BIM for repairs and rehabilitation of existing buildings and companies need to develop their processes in this field. The results demonstrated that the quality of the inventory model has a great impact on the overall quality, workload and cost of the whole construction project.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on toteutettu opinnäytteenä Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitoksen diplomi-insinööri tutkintoa varten. Diplomityö on toteutettu A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n toimeksiannosta tutkia korjausrakennuskohteen tietomallipohjaista rakennesuunnittelua liittyvien rakenneosien osalta.

Haluan kiittää A-Insinöörit Suunnittelu Oy:tä mahdollisuudesta perehtyä uuteen aihepiiriin, joka varmasti tulee palvelemaan korjausrakentamisen tarpeita tulevaisuudessa sekä haluan kiittää yrityksen henkilöstöä tuesta ja tutkimustyön suorittamiseen liittyvästä avusta. Kiitokset kuuluvat myös tämän työn tarkastajalle Professori Mikko Malaskalle asiantuntevasta ohjauksesta sekä hyvistä neuvoista.

Tampereella 2.8.2016

Juha Risulahti

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Tutkimuksen tausta .....	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset.....	1
1.3	Tutkimuksen sisältö.....	2
2.	TEOREETTINEN TAUSTA .....	3
2.1	Korjausrakentaminen .....	3
2.1.1	Rakennuskanta ja korjausrakentamisen kehittyminen .....	3
2.1.2	Rakennuksen elinkaari ja korjausrakentamisen osa-alueet .....	7
2.1.3	Korjausrakennushankkeen vaiheet ja suunnittelu .....	8
2.2	Tietomallintaminen korjausrakennushankkeessa .....	12
2.2.1	Tietomallintamisen historia.....	13
2.2.2	Tietomallintamisen perusteet .....	14
2.2.3	Tietomallin tietosisältö ja tiedon hallinta olemassa olevien rakenteiden näkökulmasta .....	16
2.2.4	Tuotemallinnuksen vaiheet ja tuotemallin rakenne .....	19
2.2.5	Lähtötietomalli .....	20
2.2.6	Tietomallin tarkkuus .....	21
2.2.7	Tiedonsiirto osapuolten välillä.....	22
2.2.8	Reikä- ja varaussuunnittelu .....	23
2.2.9	Tietomalliselostus .....	24
2.2.10	Suunnitelmien laadunvarmistus .....	25
2.3	Olemassa olevien rakenteiden selvitykset.....	26
2.3.1	Kuntotutkimukset.....	27
2.3.2	Vanhat suunnitelmat .....	28
2.3.3	Lämpökamerakuvaus .....	29
2.3.4	Perinteiset rakennusmittausvälineet.....	30
2.3.5	Satelliittipaikantimet .....	32
2.3.6	3D-mittaustekniikat.....	33
3.	KORJAUSRAKENNUSHANKKEEN TIETOMALLIPERUSTEINEN SUUNNITTELU .....	41
3.1	Tutkimusmenetelmän valinta .....	41
3.2	Case kohteen esittely .....	41
3.3	Rakennushankkeen vaiheet ja lähtötilanteen tiedot .....	42
3.3.1	Rakennusmittaukset .....	43
3.3.2	Rakenneselvitykset ja haitta-aineet .....	46
3.4	Lähtötietomalli .....	48
3.5	Olemassa olevien rakenteiden materiaalitiedot ja detaljoinnit.....	49
3.6	Suunnittelu .....	51
3.7	Korjausmenetelmien valinta.....	52
3.8	Uusien rakenteiden sovittamien tietomalliin.....	52

3.8.1	Reikä ja varaustiedot.....	56
3.8.2	Suunnitelmien tuottaminen tietomallista .....	57
4.	TULOKSET JA HAVAINNOT.....	59
4.1	Tietomallin hyödyntäminen korjausrakentamisessa .....	59
4.1.1	Saatavat hyödyt ja haitat .....	60
4.2	Tietomallintaminen korjausrakentamisessa .....	61
4.2.1	Lähtötietomalli .....	62
4.2.2	Geometria ja materiaalitiedot.....	63
4.2.3	Uusien rakenteiden sovittaminen olemassa oleviin rakenteisiin....	66
4.3	Tietomallin ja suunnitelmien tulkinta .....	67
4.4	Tietomalliohjeet korjausrakentamisessa .....	71
5.	YHTEENVETO .....	73
5.1	Yleistä.....	73
5.2	Tutkimuksen havainnot .....	73
5.3	Jatkotutkimus- ja kehitystarpeet.....	76
	LÄHTEET.....	78

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Suomen rakennuskanta ”perustuu lähteeseen [29]”</i> .....	4
<b>Kuva 2.</b>	<i>Suomen asuntokannan ikäjakauma vuonna 2014. Kuvaajassa Pylväät tarkoittavat nykyistä rakennuskantaa ja taustakaavio tarkoittaa ikäjakauman ennustetta [25].</i> .....	4
<b>Kuva 3.</b>	<i>Suomen asuinrakennukset rakennusmateriaalin mukaan ”perustuu lähteeseen [29]”</i> .....	5
<b>Kuva 4.</b>	<i>Suomen muut rakennukset rakennusmateriaalin mukaan ”perustuu lähteeseen [29]”</i> .....	5
<b>Kuva 5.</b>	<i>Rakentamisen volyymikehitys sektoreittain [30].</i> .....	6
<b>Kuva 6.</b>	<i>Korjausrakentamisen kasvu verrattuna uudisrakentamisen kehitykseen vuosina 1985–2015 [30].</i> .....	6
<b>Kuva 7.</b>	<i>Rakennuksen elinkaarimalli ”perustuu lähteeseen [18]”</i> .....	7
<b>Kuva 8.</b>	<i>Korjausrakentamishankkeen vaiheet ja päätehtävät [14].</i> .....	9
<b>Kuva 9.</b>	<i>Korjausmenetelmän valinta [14].</i> .....	10
<b>Kuva 10.</b>	<i>Päärakennesuunnittelijan tiedonvaihto eri osapuolien välillä [28].</i> .....	12
<b>Kuva 11.</b>	<i>Tietomallin laajuusmuodot [3].</i> .....	13
<b>Kuva 12.</b>	<i>Tietomallien mahdollistama uuden tiedon- ja viestintätekniikkaa kuvaava järjestelmä [7].</i> .....	15
<b>Kuva 13.</b>	<i>Havainne kuvat tilavuus-, pinta ja viivamallista ”perustuu lähteeseen [28]”</i> .....	18
<b>Kuva 14.</b>	<i>Tietolähteet joita on pyrittävä hyödyntämään selvitetäessä eri vauriotapojen tilannetta ja selventämistä [2].</i> .....	27
<b>Kuva 15.</b>	<i>Vaurioiden syntymekanismi [22].</i> .....	27
<b>Kuva 16.</b>	<i>Kuntotutkimuksen suositeltava kulkukaavio [22].</i> .....	28
<b>Kuva 17.</b>	<i>Lämpökameran periaatekuva [33].</i> .....	29
<b>Kuva 18.</b>	<i>Lämpökamerakuvat rakennuksen lattiasta ja ulkoseinän nurkasta [24].</i> .....	30
<b>Kuva 19.</b>	<i>Tarkkuusluokan 1 mitta.</i> .....	30
<b>Kuva 20.</b>	<i>Perinteiset vaaituskojeet [16].</i> .....	31
<b>Kuva 21.</b>	<i>Tasolaser [16].</i> .....	32
<b>Kuva 22.</b>	<i>Satelliittipaikannuksen periaate [16].</i> .....	33
<b>Kuva 23.</b>	<i>Täkymetrimittauksen periaate [16].</i> .....	34
<b>Kuva 24.</b>	<i>Ilmalaserkeilauksen periaate [21].</i> .....	36
<b>Kuva 25.</b>	<i>Maalaserkeilauksen periaate [21].</i> .....	36
<b>Kuva 26.</b>	<i>Ajoneuvolaserkeilausperiaate [21].</i> .....	36
<b>Kuva 27.</b>	<i>Ote rakennushistoriallisen kohteen laserkeilausmittauksen pistepilvestä, johon on liitetty valokuvattu väritieto, Turunlinnan herrainkellari [36].</i> .....	37
<b>Kuva 28.</b>	<i>Ilma-fotogrammetrian periaate [6].</i> .....	39
<b>Kuva 29.</b>	<i>Julkisivun valokuva ja progressiivinen oikaisu lähifotogrammetria osaluueessa [6].</i> .....	39

<b>Kuva 30.</b>	<i>Rakennushankeen tehtävien kokonaisuus ja sen muodostuminen osapuolitehtävistä ja vaihetehtävistä [26].</i>	42
<b>Kuva 31.</b>	<i>Mittausdatan pohjalta tuotettu tasokuvan osa (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	45
<b>Kuva 32.</b>	<i>Pistepilviaineisto lähtötietona teräsrakenteen ja olemassa olevan rakenteen väliselle liitokselle (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	48
<b>Kuva 33.</b>	<i>Case-kohteen lähtötietomalli (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	49
<b>Kuva 34.</b>	<i>Objektin user-defined attributes –valikko (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	50
<b>Kuva 35.</b>	<i>Objektin part mark –valikko (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	51
<b>Kuva 36.</b>	<i>Julkisivun tuentaperiaate 1 (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	54
<b>Kuva 37.</b>	<i>Julkisivun tuentaperiaate 2 (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	55
<b>Kuva 38.</b>	<i>Reikävarauksien havainnollistava kuva, jossa reikävaraukset ovat merkitty punaisella värillä (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	57
<b>Kuva 39.</b>	<i>Piirustuspuolen objektien tietokentän valinta (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	58
<b>Kuva 40.</b>	<i>Ote Case kohteen koordinaatisto (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	63
<b>Kuva 41.</b>	<i>Ulkoseinien antura (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	64
<b>Kuva 42.</b>	<i>Tiedonsiirtoformaattissa näkyvät materiaalitiedot (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	65
<b>Kuva 43.</b>	<i>Ulkoseinien tukiristikön liitosperiaate ulkoseinärakenteeseen (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	66
<b>Kuva 44.</b>	<i>Class luokkien värisävy erot (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	68
<b>Kuva 45.</b>	<i>IFC katseluohjelman näkymä ohjelmasta 1 (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	69
<b>Kuva 46.</b>	<i>IFC katseluohjelman näkymä ohjelmasta 2 (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).</i>	69
<b>Kuva 47.</b>	<i>Esimerkki inventointimallinnuksen vaiheistuksesta rakennushankkeessa [36].</i>	72



## LYHENTEET JA MERKINNÄT

BIM	Building information model, tarkoitetaan rakenteen tai rakennuksen tietomallia (ks. tietomalli)
Case	Tutkittava kohde
Class	Objektin luokitustasoon käytettävä numerointi
dwg-tiedosto	Esimerkiksi AutoCAD-ohjelmiston tuottama tiedostomuoto
Rakennuksen elinkaari	Kuvaa ajanjaksoa, joka on rakennushankkeen hankesuunnitteluvaiheessa rakennukselle määritelty käyttöikä, jonka tulee täyttää terveellisyyden, turvallisuuden ja käyttökelpoisuuden vaatimukset
IFC	Industry Foundation Classes, kansainvälinen tietomallin kolmiulotteisen geometrian ja parametrien ohjelmistoriippumaton tiedonsiirtoformaatti
Fotogrammetria	Eli kuvamittaus tarkoittaa kohteiden kolmiulotteista mittausta kohteesta otettujen valokuvien avulla
Inventointimalli	Olemassa olevasta rakennuksesta laadittu lähtötietomalli.
Kuntotutkimus	Tutkimus, jossa rakennuksen osa-alue, rakennusosa tai laitteisto tutkitaan asiantuntijan toimesta rakenteen kunnon ja mahdollisen vaurion syyn selvittämiseksi
Lähtötietomalli	Rakennuksen nykytilaa ja suunnittelun lähtötietoja kuvaava malli
Objekti	Tietomallipohjaisessa suunnittelussa komponentin osasta käytettävä nimitys
Orientointi	Kohteen tai osan sijainnin määrittäminen
Pistepilvi	3d-mittaustulos, jossa laserkeilain lähettää ympäristöön lasersäteitä ja säteen osuessa pintaan keilain tallentaa pisteen kolmiulotteiset koordinaatit. Näistä pisteistä muodostuu tiheä pisteverkko eli pistepilvi
Referenssi	Ohjelmaan tuotu viitetiedosto tai -malli
TATE	Lyhenne sanasta talotekniikka
Tekla Structures	Tietomallintamiseen käytettävä ohjelmisto
Tietomalli	Yleisnimitys rakennuksen tai rakenteen digitaalisessa muodossa olevalle mallille, johon rakenteisiin liittyviä tietoja tallennetaan
UDA	Tekla Structures ohjelmassa oleva user defined attributes -tietokenttä
Yhdistelmämalli	Tietomalli, jossa eri suunnittelijoiden tietomallit on yhdistetty
YTV	Lyhenne sanasta yleiset tietomalliohjeet

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Suomen rakennuskanta on vanhenemassa ja korjausrakentamisen tarve tulee lisääntymään. Tämä tulee lisäämään myös *tietomallipohjaisen* korjaussuunnittelun tarvetta. Tietomallipohjainen rakennesuunnittelu ei vielä ole korjausrakentamisessa kovin yleistä vaikka tietomallintamisen osuus on kokoajan kasvamassa.

*Korjausrakentamisen* osa-alueella ei ole vielä paljoa kokemuksia tietomallipohjaisesta rakennesuunnittelusta eikä tietomallipohjaisella suunnittelulla saavutettavista hyödyistä. Tällä hetkellä onkin tärkeää hankkia näitä kokemuksia, jotta tulevaisuudessa korjausrakentamisen digitalisoituminen voidaan integroida yritysten toimintaprosesseihin. Tietomallipohjaisen suunnittelun tietoja voidaan tulevaisuudessa hyödyntää kunnossapidossa ja elinkaarisuunnittelussa.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää olemassa olevien rakenteiden selvitystekniikat, kuinka materiaalitiedot voidaan esittää tietomallissa ja tuotetuissa rakennesuunnitelmissa sekä miten uudet rakenteet voidaan sovittaa olemassa oleviin rakenteisiin tietomallinusta hyödyntäen. Tutkimuksessa käsitellään myös osa-alueita, joita havaittiin tietomallipohjaisen suunnitteluprosessin läpiviemisessä. Näitä osa-alueita ovat reikä- ja varaus-suunnitelmien laatiminen ja tietomallin tulkinta. Tutkimus painottuu liittyviin rakennesosiin, joilla tässä tutkimuksessa tarkoitetaan olemassa olevia rakenteita.

Tutkimuksessa toteutettiin korjausrakennuskohteen rakennesuunnitelmat tietomallipohjaisesti, aina *lähtötietomallin* luomisesta lopullisiin suunnitelmiin. Lähtötietomallia luottaessa koottiin tarvittavat lähtötietotarpeet, joiden pohjalta *lähtötietomalli* oli mahdollista tuottaa. Lähtötietomallia täydennettiin tarvittavien korjaustoimenpiteiden vaatimusten mukaisesti, jolloin mallista muodostui kohteen toteumamalli.

Tutkimus on rajattu käsittelemään Suomalaista rakennuskantaa ja tietomallintamista korjausrakentamisen osa-alueella. Tietomallintamisen osuus rajataan olemassa oleviin rakenteisiin ja uusiin liittyviin rakenteisiin. Lisäksi työssä käydään lyhyesti läpi korjausrakentamisen tärkeitä osa-alueita, joita tietomallipohjaisessa suunnittelussa tuli työn aikana esille. Tutkimukseen koottuja menetelmiä sovellettiin *Case*-kohteeseen, josta luotiin lähtötietomalli sekä siitä korjaustoimenpiteillä täydennetty korjauskohteen rakennemalli.

Tutkimuksessa mallinnusohjelmanä käytettiin *Tekla Structures* -ohjelmiston versiota 20.0.

### 1.3 Tutkimuksen sisältö

Luku 2 sisältää teoriaosuuden, jonka teoreettinen tausta perustuu alan kirjallisuuslähteisiin. Tutkimuksen teoriaosuus jakautuu kolmeen eri asiakokonaisuuteen, joissa käydään läpi korjausrakentamista, tietomallintamista korjausrakentamisessa ja olemassa olevien rakenteiden selvitys- ja mallinnusmenetelmiä. Korjausrakentaminen on jaettu kolmeen eri alalukuun, joissa käydään läpi Suomen rakennuskantaa ja korjausrakentamisen kehittymistä, rakennuksen elinkaarta, korjausrakentamisen eri osa-alueita sekä korjausrakennushankkeen vaiheita ja suunnittelua. Tietomallintaminen korjausrakentamisessa on jaettu kymmeneen eri alalukuun, joissa käydään läpi tietomallintamisen perusteita ja historiaa sekä tietomallintamisen kannalta oleellisia asioita, joita korjausrakentamisen tietomallipohjaisessa suunnittelussa tulee ottaa huomioon. Teoriaosuudessa käsitellään viimeisenä olemassa olevien rakenteiden selvitystapoja, joka on jaettu kuuteen eri alalukuun. Näissä alaluvuissa käsitellään yleisesti olemassa olevien rakenteiden vaurioiden selvitystapoja ja olemassa olevien rakenteiden sijaintitietojen selvitystapoja.

Luku 3 sisältää Case kohteen esittelyn ja kohteen tietomallipohjaisen suunnittelun periaatteet lähtötietomallin luomisesta aina suunnitelmien tuottamiseen sekä uusien rakenteiden sovittamisen olemassa oleviin rakenteisiin. Luvussa käsitellään myös tietomallipohjaisen korjausrakennesuunnittelun tärkeitä osa-alueita. Luku on jaettu kahdeksaan alalukuun, joissa käydään läpi tutkimusmenetelmät sekä Case-kohde. Seuraavaksi luvussa käydään läpi lähtötietomallin muodostaminen ja lähtötietomallia varten tarvittavat selvitystyöt, kuten rakennusmittaukset, *kuntotutkimukset* sekä miten materiaali ja vauriotiedot voidaan esittää tietomallissa. Tämän jälkeen luvussa käydään läpi rakennesuunnittelua, korjaustoimenpiteiden valinta ja kuinka uudet rakenteet voidaan sovittaa olemassa oleviin rakenteisiin tietomallia apuna käyttäen.

Luku 4 sisältää tutkimuksen tuloksia ja havaintoja, joita Case kohteen tietomallipohjaisessa suunnitteluprosessissa havaittiin, painottuen korjausrakennushankkeen tietomallipohjaiseen rakennesuunnitteluun. Tulokset on jaoteltu neljään eri alalukuun, tietomallintamisen hyödyntämiseen korjausrakentamisessa, tietomallintamiseen korjausrakentamisessa, tietomallin ja suunnitelmien tulkitsemiseen sekä korjausrakentamisen tietomalliohjeisiin.

Viimeisessä luvussa käydään läpi tutkimuksen yhteenveto keskeisimmistä johtopäätöksistä ja havainnoista, joihin tutkimuksen perusteella on päädytty sekä tämän tutkimuksen pohjalta syntyneisiin jatkotutkimustarpeisiin.

## 2. TEOREETTINEN TAUSTA

Tutkimuksen teoreettinen tausta on jaettu kolmeen eri asiakokonaisuuteen. Ensimmäisessä osiossa käsitellään Suomen olemassa olevaa rakennuskantaa, rakennusten elinkaarta, korjausvaiheita sekä korjaussuunnittelua tietomallintamisen näkökulmasta. Toisessa osiossa käsitellään tietomallintamista korjausrakentamisen näkökulmasta ja tietomallin muodostamista olemassa olevan mittausdatan pohjalta. Kolmannessa osiossa käsitellään olemassa olevien rakenteiden selvitystekniikoita ja niiden mittaustarkkuuksia.

Teorian tarkoitus on antaa tarvittava taustatieto olemassa olevasta rakennuskannasta ja tietomallintamisen hyödyntämisestä korjausrakentamisen osa-alueella. Teoriaosiossa kuvataan lisäksi yleisellä tasolla olemassa olevien rakenteiden mittaustekniikoita.

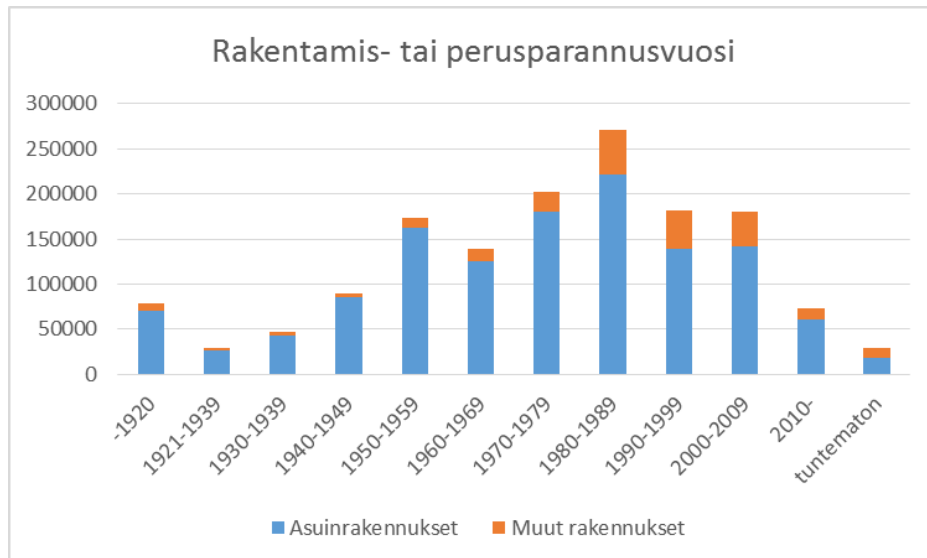
### 2.1 Korjausrakentaminen

Korjausrakentaminen tarkoittaa olemassa olevan rakennuksen tai muun rakennelman laajaa yhdellä kertaa tapahtuvaa korjaamista tai muuttamista. Korjausrakentamisen lähtökohtana onkin olemassa oleva rakennus, jota halutaan uudistaa tai jonka vaurioituneita rakenteita joudutaan korjaamaan. Korjauksen ja uudistamisen laajuuteen ja toimenpiteisiin vaikuttavat rakennuksen ominaisuudet, arvot sekä rakennuksen käyttäjät tai asukkaat. Olemassa oleva rakennus asettaakin rakentamiselle uudisrakentamiseen verrattuna huomattavasti enemmän reunaehtoja ja rajoituksia. Nämä reunaehdot ja rajoitukset on otettava huomioon korjaushankkeen suunnitelmia laadittaessa.

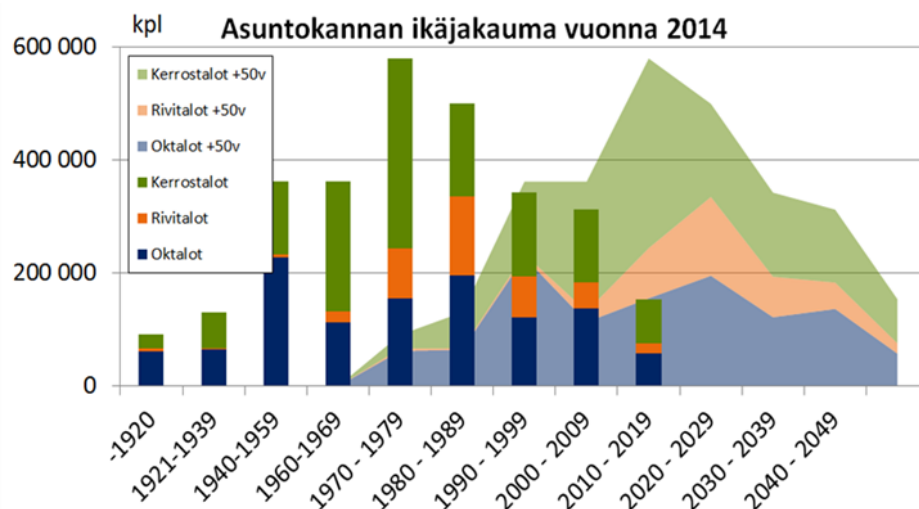
Tässä luvussa käsitellään korjausrakentamisen teoriaa Suomen rakennuskannasta ja korjausrakentamisen kehittymisestä 2000 luvulla. Luvussa käsitellään rakennusten elinkaaren kulkua ja korjausrakentamisen osa-alueet. Viimeiseksi tässä luvussa käsitellään korjausrakentamisen vaiheet sekä tietomallipohjaista korjausrakennesuunnittelua.

#### 2.1.1 Rakennuskanta ja korjausrakentamisen kehittyminen

Suomen rakennuskanta on vielä varsin nuorta. Suomen asuin- ja palvelurakennuskannasta on rakennettu kolme neljäsosaa vuoden 1960 jälkeen ja 40 prosenttia vuoden 1980 jälkeen kuten kuvassa 1 esitetään [29]. Tästä johtuen rakentamisen painopiste on siirtymässä uudisrakentamisesta rakennusten ylläpitoon ja korjausrakentamiseen. Kuvassa 2 on kuvattuna Suomen asuntokanta. Suomen rakennuksista asuinrakennukset ovat tällä hetkellä suurin osa-alue, joka tulee tarvitsemaan tulevaisuudessa korjaus- tai ylläpidollisia toimenpiteitä.

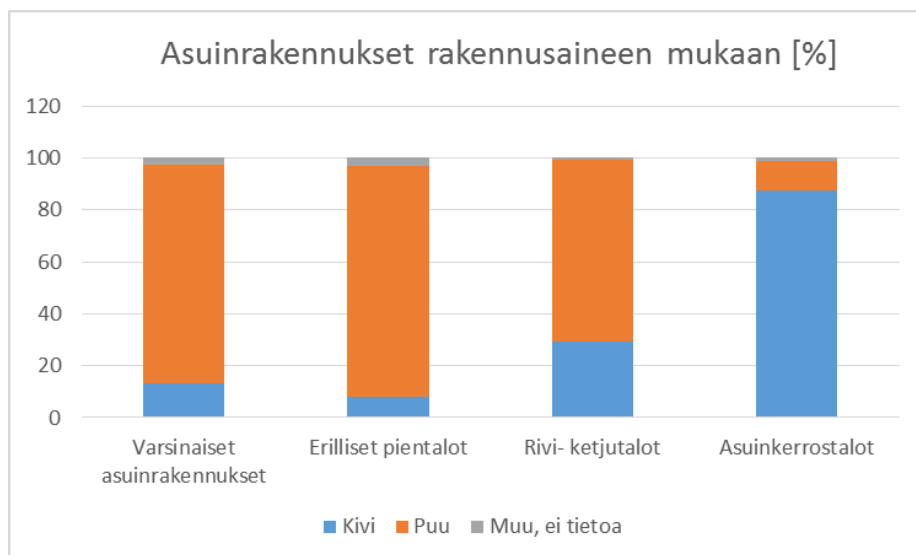


**Kuva 1.** Suomen rakennuskanta ”perustuu lähteeseen [29]”.

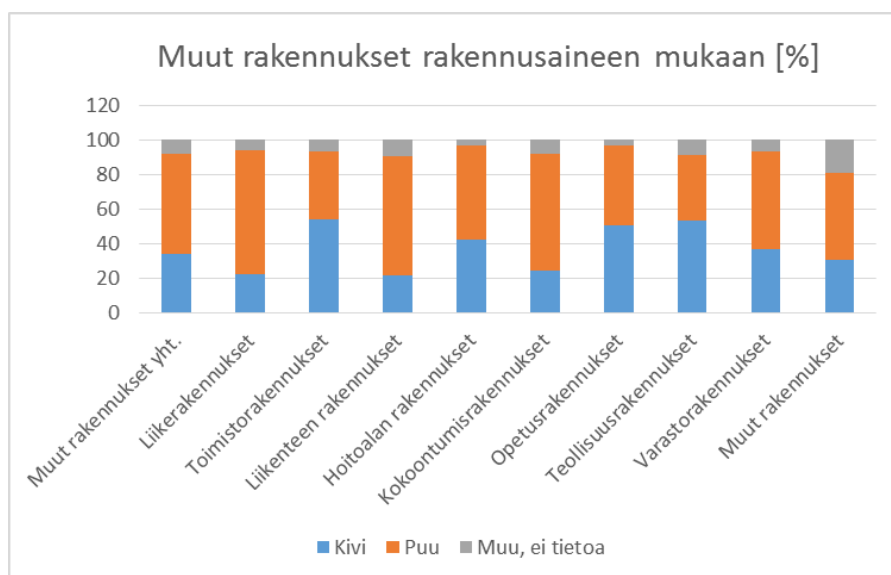


**Kuva 2.** Suomen asuntokannan ikäjakauma vuonna 2014. Kuvaajassa Pylväät tarkoittavat nykyistä rakennuskantaa ja taustakaavio tarkoittaa ikäjakauman ennustetta [25].

Suomen rakennuskanta koostuu rakennusmateriaalien osalta suurimmaksi osin puu- ja betonirakenteisista rakennuksista. Rakennuskanta ei kuitenkaan koostu kokonaan puu- ja betonirakenteisista rakennuksista vaan rakentamiseen on käytetty myös muita rakennusmateriaaleja. Näihin muihin rakennusmateriaaleihin voidaan luokitella mm. tiili ja teräs-rakenteet. Kuvassa 3 kuvataan suomen asuinrakennukset rakennusmateriaalien mukaan jaoteltuna ja kuvassa 4 esitetään suomen muuten rakennuksen rakennusmateriaalien mukaan jaoteltuna [8].



**Kuva 3.** Suomen asuinrakennukset rakennusmateriaalin mukaan ”perustuu lähteeseen [29]”.

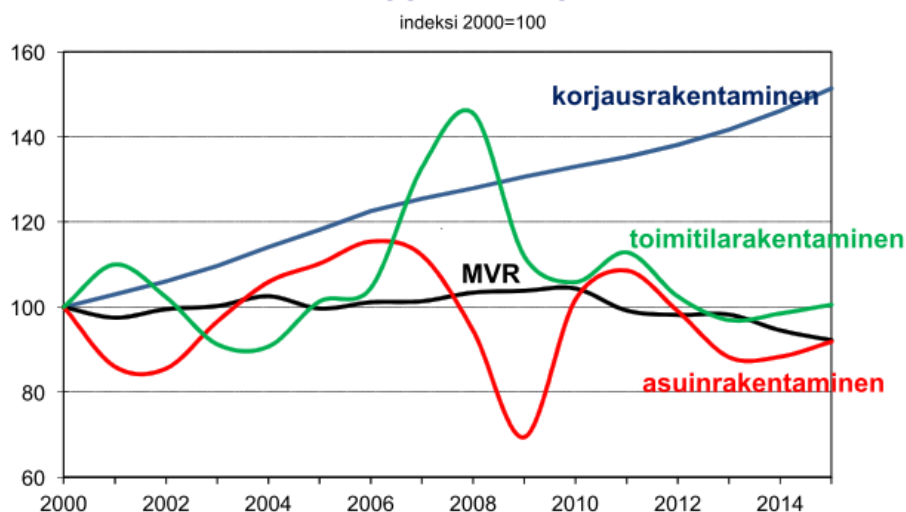


**Kuva 4.** Suomen muut rakennukset rakennusmateriaalin mukaan ”perustuu lähteeseen [29]”.

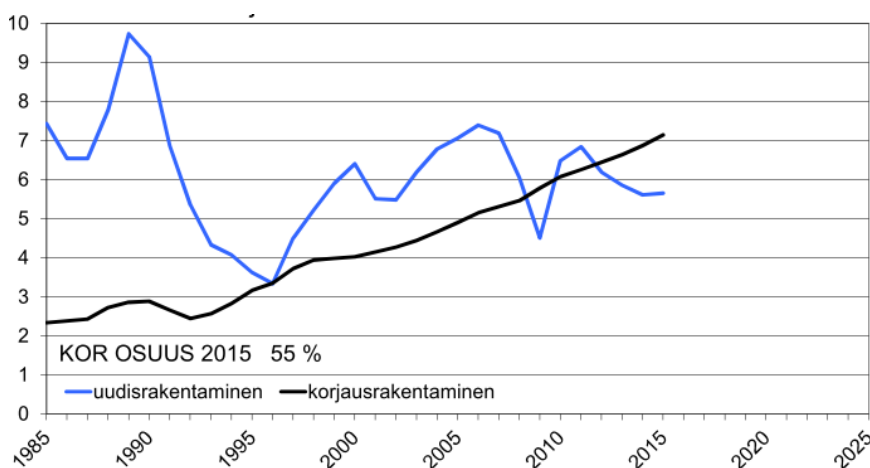
Tärkeimmässä roolissa tarkoituksenmukaisen ylläpidon järjestämisessä ja oikea-aikaisissa huoltotoimenpiteissä on kiinteistön omistaja, jonka tulee huolehtia kiinteistön kunnosta. Nuoresta rakennuskannasta johtuen rakennusten korjaustarvetta ei ole vielä tunnistettu riittävästi ja osa huoltotoimenpiteistä on jäänyt tekemättä aiheuttaen rakenteiden vaurioitumista. Vaurioituminen voidaan välttää oikea-aikaisilla huoltotoimenpiteillä. Viime vuosikymmenten aikana on julkaistu maankäyttö- ja rakennusasetuksessa rakennusten käyttö- ja huolto-ohjeet. Nämä ohjeet ohjaavat rakennusten systemaattisia ja oikea-aikaisia korjaustoimenpiteitä edistämällä rakennusten kuntoa ja samalla ohjeet toimivat kiinteistönpidon ohjeena huoltotoimenpiteille. [13].

Korjausrakentaminen on tällä hetkellä ajankohtaista 1960–1980 luvulla rakennetussa rakennuskannassa. Kuvassa 5 esitetään rakentamisen volyymikehitys vertailuvuodesta 2000 lähtien. Kuvasta 6 voidaan nähdä, että korjausrakentamisen tarve on lisääntynyt n.55 prosenttia vertailuvuoteen suhteutettuna, kun taas uudisrakentamisen volyymi ei ole kasvanut paljoakaan. Molemmilta kuvaavilta voidaan hyvin huomata myös maan taloudelliset notkahdukset, jotka näkyvät selvänä muutoksena rakentamisessa.

### Rakentamisen volyymikehitys sektoreittain



**Kuva 5.** Rakentamisen volyymikehitys sektoreittain [30].



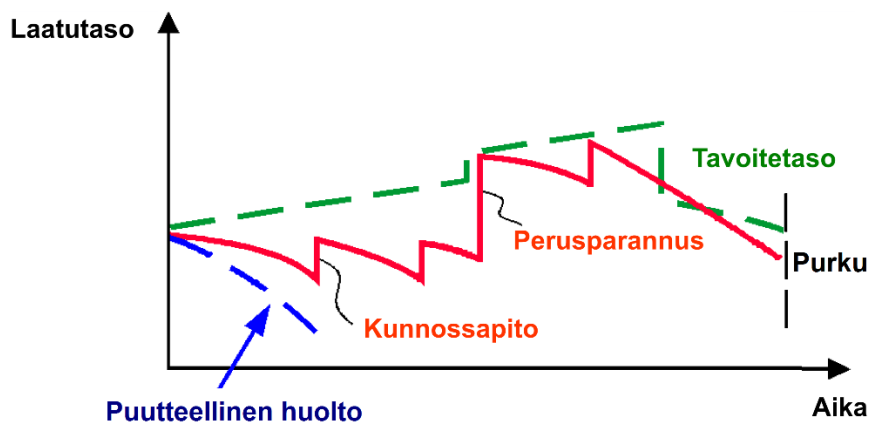
**Kuva 6.** Korjausrakentamisen kasvu verrattuna uudisrakentamisen kehitykseen vuosina 1985–2015 [30].

Suomi on viime vuosikymmeninä jakautunut entistä selkeämmin väestöltään väheneviin ja kasvaviin seutukuntiin. Taantuvilla alueilla vajaakäyttöisten tai tyhjentyneiden rakennusten osalta on jouduttu ja joudutaan tekemään ratkaisuja niiden omistamisesta, kehittämisestä ja purkamisesta osana kuntien pitkän aikavälin kehittämistä. Kasvualueilla käytökelpoisen rakennusmaan väheneminen sekä yhdyskuntarakenteen ja *infrastruktuurin* hajautuminen on tehnyt täydennysrakentamisesta entistä merkittävemmän vaihtoehdon,

etenkin asuntorakentamisen osa-alueella. Täydennysrakentamista rajoittaa joissain tapauksissa kaavoitustilanne tai alueiden nykyisten asukkaiden vastustus [13].

### 2.1.2 Rakennuksen elinkaari ja korjausrakentamisen osa-alueet

Rakennuksen *elinkaarella* tarkoitetaan ajanjaksoa, joka on rakennushankkeen hankesuunnitteluvaiheessa rakennukselle määritelty käyttöikä ja, jonka aikana rakennuksen tulee täyttää lainsäädännössä asetetut terveellisyyden, turvallisuuden ja käyttökelpoisuuden vaatimukset. Rakennuksien ei enää ajatella kestävänsä vuosisatoja vaan elinkaariajattelu sisältää ajatuksen, että rakennus tulee jossain vaiheessa elinkaaren päätepisteeseen ja puretaan pois [18]. Kuvassa 7 esitetään yksinkertaistetusti *rakennuksen elinkaarimalli*.



**Kuva 7.** Rakennuksen elinkaarimalli ”perustuu lähteeseen [18]”.

Standardissa ISO 15686-1 määritellään rakennuksille suunnittelukäyttöikä ja ennakoitu käyttöikä. Suunnittelukäyttöikä kuvaa omistajan ja häntä edustavan rakennuttajan asettamaa rakennuksen tai rakennusosan käyttöikätaavoitetta tai -vaatimusta. Ennakoitu käyttöikä kuvaa rakennuksen tai rakennusosan käyttöikäarviota. Käyttöikä arviota tehtäessä otetaan huomioon käyttöärasitukset, käytetyt materiaalit, huollon taso sekä ajankohdat. Kaikkien rakenneosien ei tarvitse kuitenkaan kestää koko rakennuksen käyttöikää varsinkaan, jos rakennuksen suunnittelukäyttöikä on paljon pidempi kuin käytettävän osan tai materiaalin käyttöikä [8]. Taulukossa 1 on esitetty erilaisille rakenteille annettuja viitteellisiä käyttöikäjä. Rakennuksen käyttöikä voi päättyä suunniteltua aikaisemminkin. Käyttöikään päätyminen voi johtua:

- turmeltumisen seurauksista
- vaatimustason kohottamisen tarpeesta
- toimintojen muuttumisesta
- taloudellisista / hallinnollisista syistä, näihin voidaan lukea esimerkiksi rakennuksen käyttökustannukset.



**Taulukko 1.** Viitteellinen suunnittelu käyttöikä [31].

Suunnittelun käyttöiän luokka	Viitteellinen suunniteltu käyttöikä (vuosia)	Esimerkkejä
1	10	Tilapäisrakenteet <sup>(1)</sup>
2	10...25	Vaihdettavissa olevat rakenteen osat, esim nosturipalkit, laakerit
3	15...30	Maatalous- ja vastaavat rakennukset
4	50	Talonrakennukset ja muut tavanomaiset rakenteet
5	100	Monumentaaliset rakennukset, sillat ja muut maa- ja vesirakennuskohteet
<sup>(1)</sup> Sellaisia rakenteita tai niiden osia, jotka voidaan purkaa uudelleen käytettäväksi, ei pidetä tilapäisinä.		

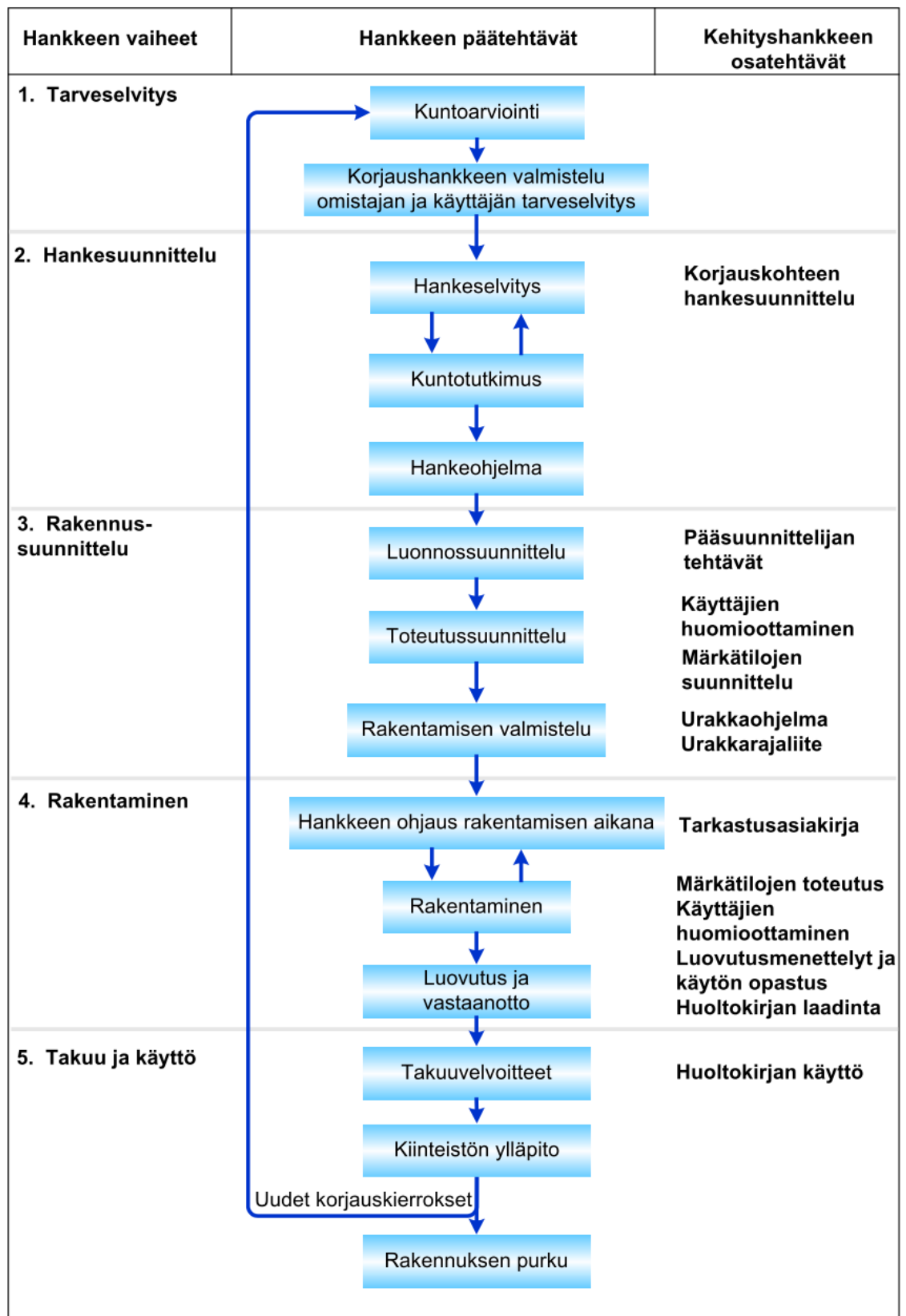
Rakennuksen ikääntyessä kaikkien rakennusosien ja teknisten järjestelmien tekninen käyttöikä sekä rakennuksen laatuvaatimukset jäävät vanhanaikaisiksi eivätkä enää täytä nykyaikaisia laatuvaatimuksia. Tällöin tulee tarpeelliseksi korjata tai uusia olemassa olevia materiaaleja ja järjestelmiä. Mikäli rakennuksen odotettavissa oleva käyttöikä jää lyhyeksi tulevaan käyttötarkoitukseen nähden, on korjauksen kannattavuutta tällöin syytä verrata rakennuksen purkamiseen ja uudelleen rakentamiseen.

Rakennuksen käyttöiän aikana rakenteisiin kohdistuu useita eritasoisia korjaus- ja huoltotoimenpiteitä. Tarve korjaustoimenpiteille seuraa yleensä rakenteen vaurioitumisesta tai rakennuksen osan tai koko rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksesta. Korjausrakentaminen voidaan jakaa eri tavoitteiden mukaan vuosihuoltoihin, toiminnallisten puutteiden poistamiseen, perusparannukseen ja peruskorjaukseen.

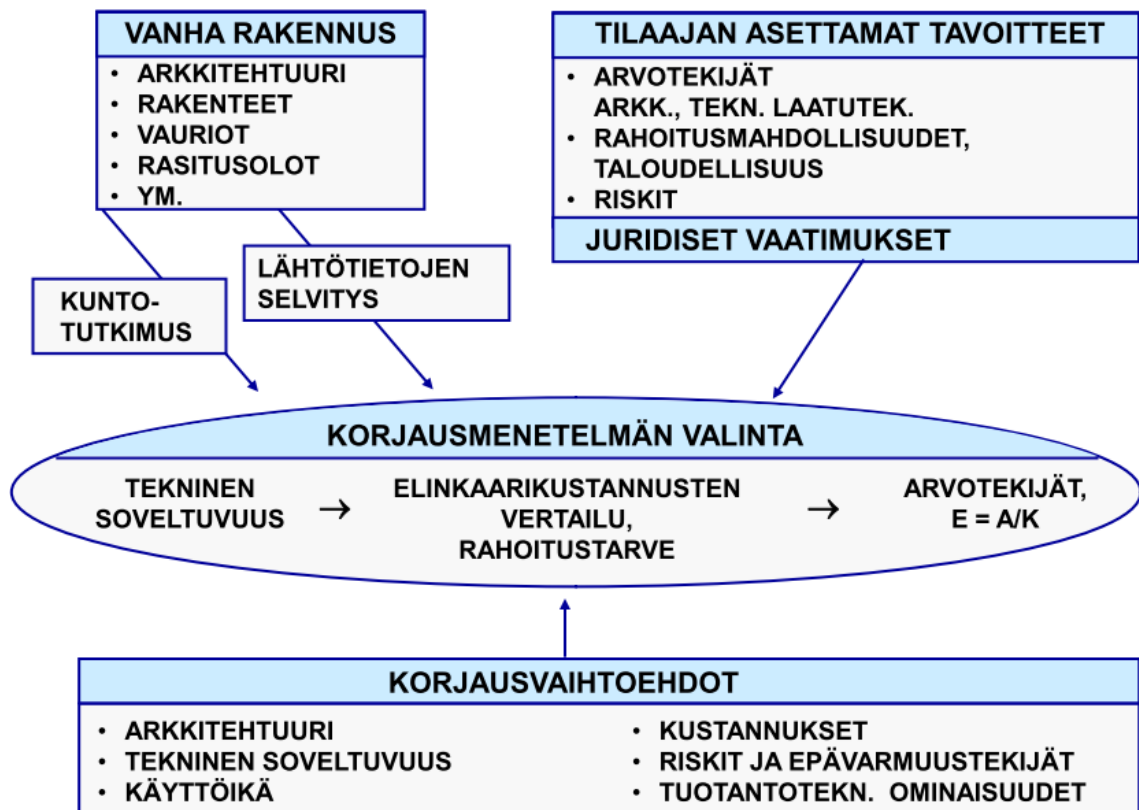
Toiminnallisten puutteiden poistamisella tarkoitetaan rakennuksen toimintaan vaikuttavien osa-alueiden parantamista. Näitä toimenpiteitä voivat olla esimerkiksi rakennuksen toiminnan muutoksesta johtuvat huoneiden sijaintimuutokset ilmanvaihtojärjestelmiin. Perusparannuksessa pyritään nostamaan laatutasoa selvästi rakennusaikaista tasoa korkeammalle tai lähelle korjausajankohdan mukaisia määräyksiä ja vaatimuksia. Peruskorjauksella pyritään sen sijaan saamaan korjauksen kohde vähintään rakennusaikaisen ajankohdan vaatimusten tasolle. Korjausrakentamiseen voidaan myös luokitella muutosrakentaminen, jonka tavoitteena on muuttaa rakennuksen käyttötarkoitusta tai käyttötapaa. [11].

### 2.1.3 Korjausrakennushankkeen vaiheet ja suunnittelu

Korjausrakennushankkeeseen sisältyy pääosin samat työvaiheet kuin perinteiseen uudisrakennushanketta koskevaan rakentamiseen. Suurin ero hankkeiden välillä liittyykin vanhojen rakenteiden kunnon ja korjaustarpeen huolelliseen selvittämiseen. Kuvassa 8 kuvataan korjausrakennushankkeen vaiheet ja päätehtävät. Rakennuksella saattaa myös olla rakennushistoriallista arvoa, mikä on otettava suunnitelmissa huomioon [14]. Kuvassa 9 on esitetty korjausmenetelmän valintakaavio.



**Kuva 8.** Korjausrakentamishankkeen vaiheet ja päätehtävät [14].



**Kuva 9.** Korjausmenetelmän valinta [14].

Rakennuslupa tarvitaan sellaisiin korjaus- ja muutostöihin, jotka ovat verrattavissa rakennuksen rakentamiseen, rakennuksen laajentamiseen tai sen kerrosalaan laskettavan tilan lisäämiselle. Rakennuslupa tarvitaan myös, jos työllä voi olla vaikutusta rakennuksen käyttäjien turvallisuuteen tai terveydellisiin oloihin. Samoin lupa vaaditaan rakennuksen tai sen osan käyttötarkoituksen olennaiseen muuttamiseen.

Rakennesuunnittelu on keskeinen osa rakennussuunnittelua. Korjaustoimenpiteiden suunnittelu on lähes aina vaativaa, jolloin korjaussuunnittelijan on lähes välttämätöntä hallita uudisrakentamiseen liittyvä suunnitteluosaaminen. Suunnittelijan onkin tunnettava korjauskohteen

- vanhat rakenteet
- vanhat rakentamistavat
- vanhat työmenetelmät
- käytetyt materiaalit
- rakenteiden mahdolliset vauriomekanismit
- nykyaikaiset korjausmenetelmät.

Näiden lisäksi suunnittelijalta vaaditaan

- valmiutta perehtyä vanhaan rakennukseen ja sen tutkimiseen
- mielenkiintoa vaadittavaan tiedonhakuun
- tarvittavien ratkaisujen ideointia ja kehitystyötä. [17].

Peruskorjauskohteen suunnittelu alkaa laatimalla korjauksen periaateratkaisut, jotka tulee laatia ennen tarkempien suunnitelmien laatimista. Periaateratkaisuilla haetaan suuret linjat rakennuksen vaurioiden ja halutun laatutason perusteella. Periaateratkaisujen korjauslaajuudet ja tavat perustuvat kysymyksiin: mitä korjataan, missä laajuudessa korjataan ja miten korjataan. Korjauksen tulee perustua korjattavasta kohteesta tehtyihin kuntotutkimuksiin ja käyttäjien havaintoihin. Korjaussuunnittelussa tulee muistaa seuraavat perustavoitteet:

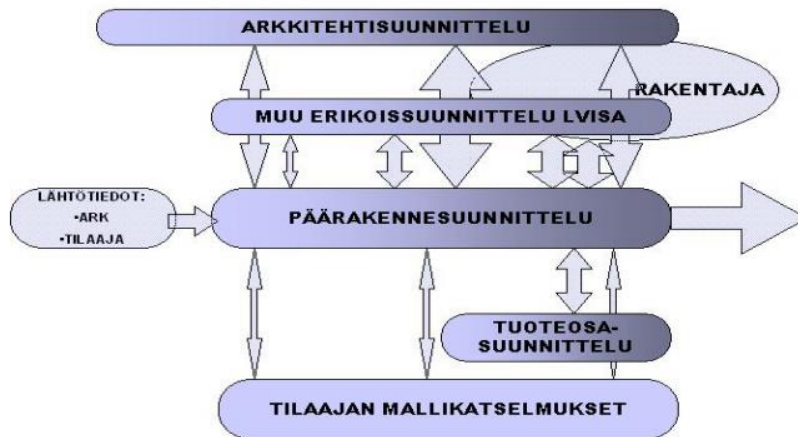
- suunnittelun lähtötiedot tulee olla kattavia ja oikein
- suunnittelijoiden vastuurajat tulee olla selkeitä
- suunnitelma-asiakirjat tulee olla kattavia, ristiriidattomia ja virheettömiä
- korjausratkaisut ja –menetelmien tulee olla toimivia ja kestäviä
- suunnittelutyön tulee olla tehokasta ja sen tulee edetä sovitun aikataulun mukaisesti
- suunnitelmien tulee vastata tilaajan ja kohteen rakenteiden tarpeellista korjaustarvetta. [14].

Perinteisesti suunnittelijan tuottama aineisto on pääosin hankkeen teknistä aineistoa, joka tulee sisältää korjattavan kohteen suunnitelmapiirustukset ja laatuvaatimusasiakirjat. Nykyinen käytäntö aineiston tuottamiseen on laatia suunnitelmapiirustukset 2D-piirustusohjelmalla ja laatia työselostukset vaadittavilta osa-alueilta.

Siirryttäessä perinteisellä tavalla tuotetuista suunnitelmista tietomallintamalla tuotettuihin suunnitelmiin myös suunnitelmapiirustusten tuottaminen muuttuu. Rakennesuunnittelu eroaakin paljon kohteen laajuuden ja korjaustarpeen mukaan. Tästä johtuen ei voida pitää korjausrakennuskohteessa selvää linjaa toteutetaanko rakennesuunnittelu perinteisesti 2D-suunnittelemalla vaiko tietomallipohjaisesti suunnittelemalla. Jos kohteen muutokset ovat pieniä, ei tällöin kannata taloudellisista syistä käyttää tietomallintamista. Sen sijaan, jos muutokset ovat merkittäviä tai suuria ja tietomallista saatava valmisosien suunnitelmien ja luetteloiden laatiminen nopeuttaa suunnitteluprosessia, on tietomallintamalla toteutettu suunnittelu hyödyllistä. Tietomallipohjaisesti suunniteltu rakenne on suunniteltava oikein, sillä väärin mallinnettu rakenne tulee myös näkymään väärin suunnitelmissa ja tiedonsiirtoformaateissa. Tämä on otettava huomioon mm. seinärakenteissa, joiden aukoilta on annettava tarkat sijaintitiedot vaaka- ja korkeussuunnassa. Tämä lisää suunnittelijan selvitystyötä 2D-suunnitteluun verrattuna [7].

Tietomallipohjaisessa suunnittelussa suunnittelun painopiste siirtyy enemmän hankkeen alkuvaiheisiin, jotta mallintamista voidaan hyödyntää vaihtoehto- ja ennakkotarkastelujen toteutuksessa. Alkuvaiheeseen tulee tällöin varata perinteiseen suunnitteluun verrattuna enemmän aikaa, johtuen kaiken toteutuksessa tarvittavan tiedon syöttämisestä tietomalliin. Suunnittelun loppupuolella tulosteiden luominen on kuitenkin nopeampaa.

Tietomalliin pohjautuvassa suunnittelussa voi suunnittelijoiden työnjako muuttua huomattavasti verrattuna perinteiseen 2D-suunnitteluun. Työnjaon seurauksena pääsuunnittelijalle voi siirtyä aiempaa enemmän aiemmin tuoteosasuunnittelijalle kuuluneita tehtäviä. Erillisen tuoteosasuunnittelijan työmäärä vähenee nykyisestä koska nykyinen ohjelmistokehitys tukee kehitystä, jossa kaikki suunnittelutyö toteutetaan samalla ohjelmistolla [28]. Samalla myös suunnittelijoiden tiedonkulku toisille suunnittelijoille poikkeaa hieman aikaisemmasta. Kuvassa 10 esitetään eräs malli päärakennesuunnittelijan tiedonvaihdon kulusta eriosapuolien välillä.



**Kuva 10.** Päärakennesuunnittelijan tiedonvaihto eri osapuolien välillä [28].

## 2.2 Tietomallintaminen korjausrakennushankkeessa

Tietomallintamisella tarkoitetaan teknologiaa, jota voidaan hyödyntää rakennuksen suunnittelussa, toteutuksessa ja ylläpidossa. Tietomallintamisen keskeisimpänä tavoitteena on, että rakennuksen tietomalli toimii virtuaalisena kolmiulotteisena mallina, jota käyttäen toteutusprosessi on suunniteltu ja simuloitu ennen kuin varsinainen rakentaminen on edes aloitettu [1], [12]. Aiemmin rakennusten kolmiulotteisista malleista käytettiin nimitystä tuotemalli. Viime vuosina on kuitenkin yleistynyt nimitys tietomalli (BIM). Tietomalli on käsitteenä tuotemallia laajempi kuvaus, joka voi koostua useiden suunnittelualojen eri tietomalleista. Kiinteistöjen ja rakennusten mallinnuksen tavoitteena on suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestävän kehitykset mukaisen hanke- ja elinkaari-prosessin tukeminen [37].

Tässä luvussa käsitellään tietomallintamista ja olemassa olevien rakenteiden 3D-pohjaista suunnittelua. Tietomallinnus voidaan jakaa myös kattavammin kuvan 11 mukaisesti. BIM 3D on kolmiulotteinen esitys rakennuksen geometriasta, jossa on annettu määritettyä tietoa rakennuksen objekteille. BIM 4D sisältää rakennuksen geometrian ja määritettyjen tietojen lisäksi aikamääreitä ja on tarkoitettu palvelemaan rakennuksen tuotannonsuun-

nittelua. BIM 5D sisältää rakennuksen määritetietojen lisäksi tietoa rakennuksen kustannuksista. BIM 6D kattaa kaiken tiedon rakennuksen energia analyyseissä. BIM 7D kattaa rakennuksen elinkaaren ylläpidon aikaiset toiminnot.



**Kuva 11.** Tietomallin laajuusmuodot [3].

Luvussa käsitellään aluksi tietomallintamisen historiaa. Seuraavana käsitellään tietomallintamisen perusteita ja suunnittelulle asetettuja tietomallivaatimuksia. Näiden jälkeen käydään läpi tietomallin tietosisältöä ja tiedonhallintaa olemassa olevien rakenteiden näkökulmasta.

Korjausrakentamisessa käsitellään seuraavaksi lähtötietomallin muodostaminen ja millä tarkkuudella tietomalli luodaan sekä reikä- ja varaussuunnitelmien laadinnan perusperiaatteet.

### 2.2.1 Tietomallintamisen historia

Tietomallintaminen on esitelty ensimmäisen kerran käsitteenä, silloin kun ensimmäiset suunnitteluohjelmistot ilmestyivät [5]. Ensimmäiset 3D-tekniikkaa hyödyntävät ohjelmistot julkaistiin 1970-luvulla. Alkuaikoina tietomallinnusohjelmistojen käyttöä kuitenkin rajoitti tietokoneiden tehonpuute ja niiden kallis hintataso. Myöhemmin tietomallintamisen käyttöä on rajoittanut CAD pohjaisen suunnittelun yleistymisen.

Tietomallien tutkimustyö jatkui aina 1990-luvulle saakka jolloin tietomallien tutkiminen keskittyi yhteisen tiedonvaihtoformaatin kehittämiseen sekä tarvittavien standardien luomiseen. Tuona aikana luotiin perusta objektilähtöiselle suunnittelulle [5]. Tietomallintamisen kehitystyö jatkuu vielä näinä päivinäkin suunnitteluprosessin helpottamiseksi.

Suomessa Tekes käynnisti 1997 kuusivuotisen VERA-teknologiaohjelman, tietoverkotunut prosessihankkeen. Ohjelman tavoitteena oli edistää tietotekniikan hyödyntämistä

kiinteistö- ja rakennusalan prosesseissa sekä kehittää tiedonhallintaa koko rakennuksen elinkaaren aikana.

Vuonna 2002 käynnistettiin ProIT –Tuotemallitieto rakennusprosessissa hanke, jonka tavoitteena oli luoda yhteinen mallinnuskäytäntö ja kehittää suunnittelijoiden laatimien tuotemallien hyötykäyttöä. Projektin tuloksena laadittiin tuotemallintamisen yleiset ohjeet. [28].

Senaattikiinteistöt julkaisivat omat tietomalliohjeensa vuonna 2007 joissa vaadittiin *IFC*-standardin mukaisten mallien käyttöä. Ohjeita päivitettiin vuosina 2011–2012 COBIM -hankkeen muodossa. Päivitystyön tuloksena syntyivät Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Yleisiä tietomalliohjeita käsitellään seuraavassa luvussa, tietomallintamisen perusteet.

Tietomallintamisen kehittäminen jatkuu edelleen ja sitä kohtaan lisääntynyt kiinnostus kuvaa, että tietomallintamisen uskotaan tulevaisuudessa osittain syrjäyttävän perinteisen 2D-pohjaisen CAD-suunnittelun. CAD pohjaista suunnittelua tullaan kuitenkin tarvitsemaan tietomallipohjaisen suunnittelun rinnalla.

## 2.2.2 Tietomallintamisen perusteet

Rakennuksen tietomallintamisella tarkoitetaan rakennus- ja rakenneosien geometrian ja niiden välisten yhteyksien sekä muiden rakenteiden ominaisuuksien syöttämistä tietokantaan, joita voidaan käsitellä eri suunnitteluohjelmistoilla. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa rakenneosat suunnitellaan kolmiulotteisina objekteina, jolloin rakenneosat näyttävät tietomallissa samanlaisilta kuin ne tulevat todellisuudessaakin näyttämään.

Tietomallintamisen tarkoituksena on muuttaa rakennuksen suunnitteluprosessi perinteisestä viivapiirtämisestä 3D-pohjaiseksi suunnitteluksi. Tietomallin tietokantaan lisätään toteutuneen rakennusprosessin ja rakennuksen käytön aikaiset tiedot, joita voidaan käyttää peruskorjaushankkeen määrittelyssä, suunnittelussa ja toteuttamisessa. Peruskorjaushankkeen päätyttyä peruskorjauksen toteutustiedot päivitetään tietomalliin ja aloitetaan rakennuksen käytön aikainen tiedon keruu ja tallentaminen.

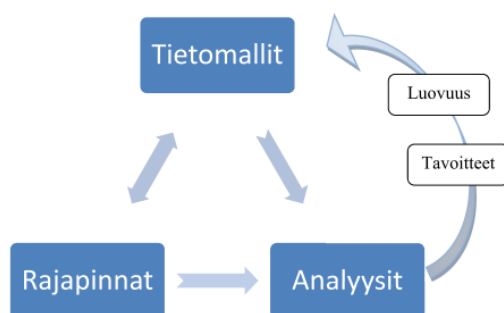
Tietomallintaminen on kokonaisvaltainen, integroitu tapa hallita rakennushankkeen tietoja digitaalisessa muodossa. Tietomallinnuksen ajatuksena on, että piirustukset tarkoitetaan ihmisten luettavaksi ja ymmärrettäväksi kun taas tietomallimuotoinen tieto on tarkoitettu ihmisten lisäksi myös tietokoneohjelmien ja tietojärjestelmien luettavaksi ja tulkittavaksi [23]. Puhuttaessa tietomallintamisen hyödyistä kannattaa nimenomaan keskittyä lisäarvoihin joita tietomallilla voidaan hankkeen eri osapuolille tuottaa koko rakennusprosessin aikana. Tietomallissa olevan tiedon määrää voidaankin kasvattaa koko rakennuksen elinkaaren ajan heti esisuunnittelusta rakennuksen kunnossapito vaiheeseen. Viimeisenä vaiheena mahdollisesti usean peruskorjauksen jälkeen voidaan tietomallin

tietoja käyttää suunniteltaessa rakennuksen purkamista tai muuta tapaa poistaa rakennus käytöstä.

Tietomallintamisen taustalla on tarvittavan tiedon saaminen ohjelmistoriippumattomasti yhdestä paikkaa koko rakennuksen elinkaaren aikana, jolloin tietoa on mahdollista käsitellä vain kulloisenkin tarpeen mukaan [28]. Oleellista tietomallintamisessa on ominaisuudet joilla voidaan hyödyntää tiedon oikeaa käyttötapaa. Tieto voidaan tallentaa tietomalliin kerran ja tietoa voidaan muokata tarvittaessa myöhemmin. Koska tietomalli on rakennuksen tietojen yhdistetty tietokanta, voidaan eri tilanteissa käyttää aina samaa tietomallia tiedonlähteenä. Tietoa ei tarvitse kopioida useaan paikkaan, millä varmistetaan tietomallin helppo päivitettävyyys ja samalla vähennetään riskejä väärän tiedon saamisesta. Useissa tilanteissa tietomallista esitettävät kolmiulotteiset näkymät edesauttavat suunnittelutilannetta sekä hahmottavat visuaalisesti työn toteutusta [7].

Tietomallit ovat mittakaavattomia, joilla ei kuitenkaan tarkoiteta piirustuksen mittakaavaa vaan ilmiötä jota kutsutaan skaalautuvuudeksi. Jos järjestelmässä on riittävästi laskentatehoa, voivat tietomallit olla tietomäärältään kuinka suuria ja mutkikkaita tahansa. Hyvänä vertauskuvana voidaan pitää yhtä ihmistä, joka pystyy käsittelemään vain rajallisen määrän tietoa, jolloin tuon rajan ylittyessä on työ jaettava useamman ihmisen kesken. Tietomalleilla ei ole tällaisia sisäänrakennettuja rajoja vaan niiden koko ja mutkikkuus voivat kasvaa rajattomasti tietojenkäsittelykapasiteetin mukana. Tietomallit eivät ole myöskään paikkaan sidottuja vaan ne voidaan siirtää verkon avulla nopeasti ja edullisesti paikasta toiseen [7].

Tietomalleihin liittyy oleellisesti käsitteet analyysi ja rajapinta. Analyysillä tarkoitetaan alkuperäisen tiedon muokkautumista sellaiseksi tiedoksi, jota ei vielä lähtötilanteessa ole nähtävillä. Rajapinnalla tarkoitetaan kahden toimijan välisen tiedon tilaa, jossa tietoa siirretään ennalta määrättyjen sopimusten mukaan. Tietomallit linkittyvät toisiinsa rajapintojen kautta ja niiden sisältämää tietoa voidaan analysoida tai siirtää rajapintojen kautta analysoitavaksi. Eräänä tyypillisenä rajapintana voidaan pitää vaatimusta, jossa tietomallit siirretään toisiin tietomalleihin ja analyysihin IFC-muodossa. Järjestelmää kuvataan usein kuvan 12 mukaisella kolmiolla. [7].



**Kuva 12.** Tietomallien mahdollistama uuden tiedon- ja viestintätekniikkaa kuvaava järjestelmä [7].



## **Yleiset tietomallivaatimukset**

Tietomallipohjaisesta suunnittelusta on julkaistu senaatti kiinteistöjen tietomallivaatimukset 2007, joihin toteutettiin päivitykset vuosina 2011–2012 COBIM -hankkeen muodossa. Päivitystyön tuloksena syntyivät yleiset tietomallivaatimukset 2012 osat 1-14. Näiden ohjeiden tarkoituksena on esittää vähimmäisvaatimukset jotka ovat tarkoitettu noudatettavaksi kaikissa rakennuskohteissa. Vähimmäisvaatimusten lisäksi ohjeissa on voitu esittää tapauskohtaisia lisävaatimuksia. Nämä eivät siltikään ole riittävän yksityiskohtaisia määrittäviä vaan lisäksi tarvitaan projektikohtaisia ohjeita.

Tietomallivaatimukset jaetaan seuraaviin osiin:

1. Yleinen osuus
2. Lähtötilanteen mallinnus
3. Arkkitehtisuunnittelu
4. Talotekninen suunnittelu
5. Rakennesuunnittelu
6. Laadunvarmistus
7. Määrälaskenta
8. Havainnollistaminen
9. Mallien käyttö talotekniikka analyyseissä
10. Energia analyytit
11. Tietomallipohjainen projektin johtaminen
12. Tietomallien hyödyntäminen rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana
13. Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa
14. Tietomallien hyödyntäminen rakennusvalvonnassa.

Yleiset tietomallivaatimukset ovat mallien geometria- ja tietosisällön kannalta olennaisessa osassa tietomallipohjaisessa suunnittelussa. Ajatuksena on, että hankkeen tietomallintamisen tavoitteet olisivat pääosin tiedossa jo ennen suunnittelijavalintaa. Ilman tietomallivaatimuksia suunnitteluryhmän kokoonpanolla sekä yritysten tiedonhallinnan ja mallintamisen osaamistasolla voi olla suuri rooli siinä miten ja minkä tasoisia malleja rakennusprosessin aikana luodaan ja miten tehokkaasti niitä voidaan hyödyntää rakentamisen ja rakennuksen elinkaaren aikana.

### **2.2.3 Tietomallin tietosisältö ja tiedon hallinta olemassa olevien rakenteiden näkökulmasta**

Tietomalleille asetetaan aina tietomallivaatimusten lisäksi projektikohtaiset vaatimukset sillä malliin on turha sisällyttää tietoa, jota ei tulla hyödyntämään rakentamisen ja elinkaaren aikana. Tiedon määrän lisääminen lisää aina riskiä virheiden mahdollisuuteen, joten luotettavimman tuloksen aikaansaamiseksi on löydettävä projektikohtainen tiedon vähimmäismäärä. Tämä edellyttää, että kaikki oleellinen ja tärkeä tieto löytyy tietomallista.

Tietomallia koottaessa on tehtävä päätös mallinnettavista rakenneosista. Tietomallissa pyritään esittämään vähintään todelliset kantavat rakenteet sekä ei-kantavat betonirakenteet yksinkertaistetusti kuvattuna todelliseen tilanteeseen nähden, kuitenkin vähintään noudattaen tietomallin mallinnustarkkuuksia. Lähtötietomallia laadittaessa kaikista rakenneosista ei aina voi saada tarkkaa tietoa purkamatta olemassa olevia rakenteita. Tämä osoittautuikin usein ongelmaksi koska suunnitelmien toteutus painottuu suurimmilta osilta ennen purkutöiden toteutusta. Mallinnettaessa rakennetta tulee kuitenkin huomioida mitä on järkevää mallintaa, eli kuinka paljon tietoa olemassa olevista rakenteista on hyödyllistä sisällyttää tietomalliin. Näihin vaikuttavat myös pitkälle tietomallin käyttötarkoitus ja vaatimukset [7]. Hyvänä esimerkkinä voidaan pitää olemassa olevien betonirakenteiden betoniteräksien mallintamista rakenneosissa, joihin ei suunnitella korjaustöidenpiteitä. On tärkeää ymmärtää ettei mallista ole tarkoitus tehdä täydellistä kuvausta rakenteesta vaan sen tulisikin sisältää vain ne rakenteet ja rakennusosat jotka suunnittelija on suunnitellut [5].

Suunnittelijan tulee tiedostaa rakenneosaa tai asiaa mallintaessa mallinnustarkkuus, että tietomallista saadaan kaikki hyöty hyödynnettyä. Oleellinen osa tiedon koordinoitua on tehdä mallinnettaville kappaleille selvät rajaukset. Tämä voidaan tehdä yksinkertaisimmillaan nimeämällä osa olemassa olevan rakenteen mukaan. Esimerkiksi annetaan olemassa olevan tiilimuurin objektin nimi kenttään arvoksi ”Vanha tiilimuuri”. Jotkin asiat ovat kuitenkin helpommin esitettävissä muilla tavoin kuin tietomallissa. Tällöin tieto joudutaankin sijoittamaan eri lähdetietoon kuin tietomalli, mikä taas ei ole tietomallintamisen peruseräkkeiden mukaista. Tästä voidaan pitää hyvänä esimerkkinä suunnitelmien jatkojalostamista *dwg* –muodossa. Suunnitelmien jatkojalostaminen on helpompaa kuin kaikkien yksityiskohtien esittäminen tietomallissa. Mallin tiedon jatkojalostaminen voi kuitenkin synnyttää helposti ristiriitoja tietomallin ja *dwg*-suunnitelmien välillä. Kaikkea kohteeseen liittyvää tietoa ei ole hyödyllistä esittää yhdessä tietomallissa. Jos kaikki tieto esitetään yhdessä tietomallissa, voi tietomallin tietomäärä kasvaa suureksi ja samalla ohjelmiston toiminta voi hidastua huomattavasti. [7]. Tästä voidaan pitää hyvänä esimerkkinä maarakenteita, jotka voidaan tehdä erillisenä tietomallina ja tarvittaessa linkittää rakennemalliin.

Rakenneosien mallinnus voidaan toteuttaa monilla eri tavoilla. Eräs tapa on mallintaa rakenne kolmiulotteisena geometrisena osana, jota voidaan muokata haluttuun muotoon leikkausviivojen tai toisten rakenteiden pintojen mukaisesti. Helpompi tapa rakenteiden mallintamiseen on käyttää valmiita parametrien avulla muokattavia objekteja, jotka muodostuvat peruskappaleisiin pohjautuvasta grafiikasta. Näitä parametreja voivat olla mm. rakenteen geometrian *UDA*-tiedot, sijainti mallissa, liittymät viereisiin rakenteisiin [5]. Näitä objekteja voidaan yhdistää toisiinsa, jolloin niistä muodostuu yksi yhtenäinen rakennekokonaisuus. Mallinnettaessa rakenneosia, tulee niille antaa tiedonsiirtoa varten

- yksilölliset kokoonpano- ja osanumero
- osan *class* numerointi

- kerrostieto
- lohkotiedot.

Mallinnettaessa rakennetta on tärkeää mallintaa rakenneosa oikeana objektina. Objektien käyttäytymisessä onkin paljon eroja. Osa objekteista on niin sanotusti kiinteitä objekteja, jolloin ne ovat täysin kiinteitä ja niitä ei voi muokata. Objektit voivat olla myös täysin manuaalisesti hallittava osia, jolloin objektin ominaisuuksia kuten mittoja muutetaan parametrien avulla. [5].

Tietomallissa objektit voidaan esittää usealla eri tavalla. Esitystavat vaihtelevat sen mukaan mitä tietoa kyseisen objektin halutaan sisältävän. Kuvassa 13 on esitys eriasteisista mallinnusobjekteista. Viiva- tai rautalankamalli koostuu yksittäisistä viivoista, jotka yhdistävät haluttuja pisteitä. Pintamalli koostuu haluttujen pisteiden välisistä tasopinnoista. Tilavuusmalli koostuu pintojen rajaamasta kolmiulotteisesta kappaleesta. Monimuotoisia kokonaisuuksia voidaan luoda yksinkertaisuudessaan yksittäisiä objekteja yhdistämällä tai leikkaamalla objektia toisella objektilla. Pintamalleilla voidaan havainnollistaa tehokkaasti rakenneosien monimuotoisia pintoja. Tilavuusmalliin voidaan puolestaan sisällyttää esimerkiksi betoniteräksiä ja siitä voidaan tulkita objektin tilavuustietoja. [10].



**Kuva 13.** Havainne kuvat tilavuus-, pinta ja viivamallista ”perustuu lähteeseen [28]”.

Objektien ominaisuuksien avulla tietomallista ja jaettavasta tiedostosta voidaan suodattaa pois haluttuja osia, yhdistettyjä rakenteita tai niiden kokonaisuuksia. Objektien luomiseen on olemassa perussäännöt. Näillä säännöillä tarkoitetaan esimerkiksi sitä, että seinät on mallinnettava seinäobjektina ja palkit palkkiobjekteina. Objektiluokan ja sitä kautta ohjelmistossa käytettävän työkalun mukaisille objekteille määräytyy luomisessa ja tietomallin jakamisessa käytetyt säännöt automaattisesti. Näiden objektien säännöt poikkeavat toisistaan. Esimerkiksi palkki objektilla määritellään leveys ja korkeus, mikä luodaan kahden halutun pisteen välille, kun taas laattaobjektille määritellään ainoastaan paksuus, joka luodaan haluttujen nurkkapisteen välille. [32].

## 2.2.4 Tuotemallinnuksen vaiheet ja tuotemallin rakenne

### **Vaatusmalli**

Rakennesuunnittelijan vaatimusmallissa esitetään rakennesuunnittelulle asetetut tavoitteet ja vaatimukset. Arkkitehti luo vaatimusmallin tarveselvitysvaiheessa rakennesuunnittelijan osallistuessa mallin luomiseen oman tehtäväkuvauksen mukaisesti. Rakennesuunnittelijan osallistuminen vaihtelee projektikohtaisesti, sillä nykykäytännössä tarveselvitysvaiheen tehtävät eivät kuulu rakennesuunnittelijalle. Tarveselvitysvaiheessa suoritetaan nykytila-analyysi, kartoitetaan tulevaisuuden tarpeita ja vertaillaan eri toimintavaihtoehtoja. Myöhemmissä vaiheissa mallia täydennettäessä tulee tietomallin tietoja verrata vaatimusmallin vaatimuksiin. [28].

### **Alustava rakennusosamalli (luonnosmalli)**

Varsinaisen rakennusosamallin suunnittelu voidaan aloittaa heti investointipäätöksen jälkeen. Luonnosmallissa alustavista luonnossuunnitelmista jalostetaan suunnitelmia varsinaisten lopullisten suunnitelmien suuntaan. Luonnossuunnittelumallit voivat olla tarkkuudeltaan hyvinkin eritasoisia ja niissä kuvataan eri rakenneratkaisujen vaihtoehtoja. Projektin ja kohteen luonne vaikuttaa luonnosmallin tarkkuuteen. Esimerkiksi julkisivut voidaan vaatia jo tässä vaiheessa mallinnettaviksi tarkasti rakennuslupaa varten. [28].

### **Rakennusosamalli**

Alustavan rakennusosamallin pohjalta tehdään varsinainen rakennusosamalli. Tähän malliin ryhdytään lisäämään rakentamisen ja ylläpidon kannalta merkittäviä rakenneosia. Tässä vaiheessa arkkitehtimalliin on lisättävä tai päivitettävä osien asennusvarat ja tuotteiden oikeat mitoitusmitat. Rakennetyypit on tiedettävä tässä vaiheessa ja ne on merkattava oikeilla tunnuksilla tietomalliin. [28].

Ohjelmistot tarjoavat rakennusosamallivaiheeseen luontevia työkaluja yleisten objektien kautta. Ongelmana tässä vaiheessa ovat yleensä ohjelmiston rajoittuneisuus detaljitason suunnittelun osalta. Tällöin joudutaan käyttämään valmiita periaatedetaljeja tietomallin rinnalla helpottamaan mallinnustyötä. Tiedon saattaminen paperimuotoon ja dokumenteiksi vaativat vielä lisää hienosäätöä. Tällöin onkin hyödyllisempää käyttää yleisesti käytössä olevia ohjeistuksia ja periaatepiirustuksia. [28].

### **Tuoteosamalli**

Tuoteosamalli -vaihe vastaa yleensä rakennusluvan jälkeistä urakalaskenta aineistoa, josta käy ilmi kaikki urakalaskennan suorittamista varten tarvittavat tiedot. Näitä tietoja ovat rakenneosien ominaisuudet, rakennetyypit sekä niiden mahdolliset toimittajat. [28].

Tuoteosamalli-nimitystä ei enää käytetä sellaisenaan yleiset tietomallivaatimukset 2012-julkaisussa, vaan se on vanha nimitys rakennusosan mallitasolle, jota käytettiin Senaatti-kiinteistöt: Tietomallivaatimukset 2007 -julkaisussa [35].

### **Toteumamalli**

Rakennemallin sisältö ja tarkkuus määritellään toteutussuunnitteluvaiheessa rakennesuunnittelijan tehtävien laajuudessa. Jos rakennesuunnittelija toimii projektissa myös elementti- ja konepajasuunnittelijana tulee kaikki kokoonpanot ja elementit mallintaa samaan tarkkuuteen kuin luonnosmalli vaiheessa mallielementit ja kokoonpanot. Jos elementti- ja konepajasuunnitelmat laaditaan eri suunnittelutoimistossa, jatkaa rakennesuunnittelija mallin suunnittelua muiden rakenteiden osalta. Tällöin tulee eri rakennesuunnittelijoiden tiedonsiirto oleelliseksi osaksi suunnittelua [28].

Nykyisin toteumamalli on vielä useasti varsinkin pienissä projekteissa melko unohdettu vaihe, jolloin mallia ei välttämättä haluta tai ehditä päivittää muutosten osalta ajantasaiseksi. Kunnollinen toteumamalli vastaa hyviä loppupiirustuksia ja toimii lähtötietona tulevaisuudessa tapahtuville korjaustoimenpiteille [28].

### **Ylläpitomalli**

Ylläpitomalli mahdollistaa tietomallin käyttämisen jatkossa rakennuksen korjaushankkeissa kuten rakennesuunnitelmia tai rakennepiirustuksia vaativissa toimenpiteissä. Ylläpitomallia tulisi päivittää sitä mukaan kun muutoksia tapahtuu rakennuksen elinkaaren aikana. Kiinteistönpidon seuraamisen kannalta tämä vaihe olisi tärkein mutta myös myöhemmät korjaushankkeet hyötyvät paljon ylläpitomallin oikeellisuudesta [28].

Nykyisillä kiinteistönpidon ohjelmilla voidaan hyödyntää rakennuksen tietomallia. Juuri tämä kohta tulisi olla tiedossa, tehtäessä ja ylläpidettäessä ylläpitomallia. Rakennuksen elinkaaren aikana ylläpitomallia hyödyntäen voidaan esimerkiksi simuloida tai tarkkailla rakennuksen energiankulutusta ja ennakoida erilaisia korjaus- tai muutostarpeita. Nämä toimenpiteet voivat säästää jatkossa kustannuksia vaikka ne vievätkin suunnitteluvaiheessa enemmän resursseja [28].

### **2.2.5 Lähtötietomalli**

Korjausrakennushankkeet ja uudisrakennushankkeet eroavat eniten siinä, että korjausrakennushankkeessa tyhjän tontin sijasta rakennuspaikalla on jo olemassa oleva rakennusrunko. Harva rakennus on kuitenkaan identtinen toiseen rakennukseen nähden vaikka lähtökohtaisesti ne olisivat toteutettu täysin samanlaisilla ratkaisuilla. Näihin poikkeamiin vaikuttavat työmaa- ja käyttöaikaiset muutokset, rakentamistyön laatu, paikalliset ympäristöolosuhteet ja ylläpidolliset erityispiirteet, jotka tekevät jokaisesta rakennuksesta hie- man erilaisen lisäten lähtötietomallin luomiseen oman haasteensa.

Korjaussuunnittelussa korostuu erityisesti lähtötilanteen mallin merkitys ja luotettavuus. Lähtötietomalli eli *inventointimalli* tuotetaan paikalla tehtävien mittausten, inventointien ja tutkimusten perusteella. Näitä tietoja joudutaan kuitenkin täydentämään olemassa olevien piirustusten ja muiden dokumenttien pohjalta. Nykyaikaisella mittaustekniikalla saadaan tarkat tiedot olemassa olevasta tilanteesta ja mallinnustekniikan sekä osaamisen kehittymisen myötä saadaan suhteellisen luotettavat lähtötiedot. Näiden lähtötietojen alkuperä tuleekin dokumentoida tietomalliselostukseen. Lähtötietojen selvitystekniikoita kuvataan tämän tutkimuksen luvussa 2.3: ”Olemassa olevien rakenteiden selvitykset”.

Lähtötietomalliin mallinnetaan ennalta määritellyn tarkkuustason mukaiset rakennusosat. Kaikki rakennusosat mallinnetaan käyttäen kyseisen osan mallintamiseen tarkoitettuja työkaluja kuten uudisrakenteiden osalta. Rakennusosat tulee mallintaa ja tyypittää selkeästi siten, että tietoa siirrettäessä rakennusosan sijainti, sovittu tietosisältö ja geometria siirtyvät oikein muiden osapuolten ohjelmistoihin. Mallinnettavien rakenneseosien nimeämisellä ja luokituksella onkin tärkeä osa korjaustoimenpiteiden mallinnusvaiheessa, koska niiden avulla on tietomallista helpompi jaotella olemassa olevat rakenteet ja uudet rakenteet toisistaan.

Inventointimallin tarkkuus jaotellaan kolmeen eri tarkkuustasoon. Tarkkuustasojen alle listataan kaikki ne rakennusosat, jotka mallinnetaan käytettävän tarkkuustason mukaan. Tarkkuustasot ilmaisevat mitä osia täytyy mallintaa ja mistä osista on sovittu hankekohteisesti. Tasot luokitellaan:

- taso 1 kuvaa tilamallia, jossa tilat muodostavat rakennuksen
- taso 2 kuvaa rakennusosamallia, joka on inventointimallin perustaso
- tason 3 mallit ovat yksityiskohtaisempia ja laajempia kokonaisuuksia kuin tason 2 mallit. [36].

Hyvällä inventointimallilla voi suunnittelutyön määrä olla huomattavasti uudisrakentamista pienempi. Toisaalta jos lähtötietomalli on puutteellinen tai se puuttuu kokonaan, voi mallintamiseen kuluva aika olla paljon suurempi kuin uudiskohteessa [35].

## 2.2.6 Tietomallin tarkkuus

Rakennetietomallin tarkkuustasot jaetaan neljään eri tarkkuusluokkaan:

1. *Mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein.*
2. *Mallinnetaan perusgeometrian osalta oikein niin, että rakenteiden kokonaismäärät selviävät mallista. Rakenteet elementoidaan.*
3. *Mallinnetaan tyyppielementit ja tyyppipaikallavalut geometrian ja sijainnin osalta oikein liittymineen, raudoituksinaan ja valutarvikkeineen. Teräskokoonpa-*

*noista tehdään betonielementtejä vastaavat mallikokoonpanot liitoksineen (liittopilareihin myös raudoitteet). Muut osat mallinnetaan geometria ja sijainnin osalta oikein liittymiseen ja valutarvikkeineen.*

4. *Mallinnetaan elementit ja paikallavalut geometrian ja sijainnin osalta oikein liittymiseen, raudoitteineen ja valutarvikkeineen. Teräskokoonpanot mallinnetaan konepajatasolle (liittopilareihin myös raudoitteet). Paalutarkkeet siirretään maliin ja paalut mallinnetaan toteuman mukaan. [38].*

Olemassa olevan rakennuksen rakenteet ovat lähes aina jossain määrin vinoja, kaltevia, kaarevia tai muuten geometrialtaan epämääräisiä. Edellä mainituista epätarkkuustekijöistä johtuen pyrkiminen inventointimallin ”absoluuttiseen” tarkkuuteen ei ole tarkoituksenmukaista. Korjauskohteen tarkkuustaso luokitellaan erikseen purettaviin- ja säilytettäviin rakennusosiin.

#### Purettavat rakennusosa:

*Mallinnetaan tarvittavassa laajuudessa purettavien ja uusien rakenteiden liittymäkohdissa perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein. Purettavat osat tulee erottaa muista rakennusosista omalla tunnisteella (esim. PURETTAVA). [38].*

#### Säilytettävät rakennusosat:

*Mallinnetaan tarvittavassa laajuudessa säilyvien ja uusien rakenteiden liittymäkohdissa perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein. Säilytettävät osat tulee erottaa muista rakennusosista omalla tunnisteella (esim. SÄILYTETTÄVÄ). Säilytettävien rakennusosien sallitut mittapoikkeamat: rakennusosien nurkkapisteissä 10 mm, pinnoilla (esim. seinissä ja lattioissa) 25 mm, epäsäännöllisten rakenteiden (esim. vesikattojen) osalta 50 mm. [38].*

Käytettävä tarkkuustaso on kuitenkin sovittava tapauskohtaisesti, jolloin tarvittavaa tarkkuustasoa voidaan vaihtaa eri rakennusosien välillä. Hyvänä esimerkkinä voidaan pitää maanalaisia rakenteita, joita ei voida havainnoida ennen purku tai maankaivutöitä. Tarkkuustasoa on jossain tapauksissa tarkennettava tietomalliohjeiden vaatimuksiin nähden. Hyvänä esimerkkinä voidaan pitää rakennushistoriallisesti arvokkaiden kohteiden yksityiskohtia, joissa sallittu mittapoikkeama on 5 mm kun normaalisti mittapoikkeamia voidaan pitää suurempina.

## **2.2.7 Tiedonsiirto osapuolten välillä**

Standardoidun tiedonsiirron periaatteena on yhteisesti sovitettu, sovelluksista riippumaton tietomuoto ja sitä vastaava tiedonsiirron formaatti, jonka pohjalta eri ohjelmistovalmistajat voivat kehittää omia yhteensopivia sovelluksia. Ilman yhteistä tiedonsiirtoformaattia eri suunnittelualojen tietomallien yhdistäminen on ongelmallista tai mahdotonta ohjelmistojen tiedostoformaattieroista johtuen.

Tietomallipohjainen tiedonsiirto ja tietojen yhteiskäyttö tarkoittaa sitä, että usea eri ohjelmasovellus voi yhtäaikaaisesti käyttää ja päivittää yhteisessä tietomallissa olevia tietoja. Tietomalli ei siis sisällä digitaalisia dokumentteja vaan nimenomaan tietoja rakennuksen tiloista, rakennusosista ja teknisten järjestelmien komponenteista [23].

Tiedonsiirtoa varten on kehitetty rakentamisen ja kiinteistönpidon eri tietojärjestelmien välille kansainvälinen tiedonsiirtostandardi. Tätä standardia kutsutaan IFC-standardiksi (Industry foundation classes). Tällä tarkoitetaan usein tapaa, jolla kolmiulotteisia malleja voidaan siirtää ohjelmistoriippumattomasti eri sovellusten välillä [23].

IFC-tiedonsiirron pääperiaate on, että tietoa tuottava tai lähettävä ohjelmasovellus esittää tiedot ohjelman omasta sisäisestä tiedonhallintamuodosta IFC-muotoon ja vastaanottava sovellus käsittelee IFC-muodon omaan sisäiseen muotoonsa. IFC-standardin periaatteena on tarjota kattava kuvaus kiinteistönpidon ja rakentamisen mallimuotoisista kolmiulotteisista tuotetiedoista koko rakennuksen elinkaaren ajan [23].

## 2.2.8 Reikä- ja varaussuunnittelu

Tietomallipohjaisessa suunnittelussa reikä- ja varaussuunnitelmien laatiminen sekä tietomallista tehtävien reikäpiirustusten teko ja vastuut on sovittava aina projektikohtaisesti. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa rakennesuunnittelija tuottaa mallin ennalta sovitussa formaatissa *TATE* –suunnittelijalle, minkä pohjalta *TATE* -suunnittelija luo IFC-pohjaisen varausmallin, joka sisältää pelkästään kohteen varausobjektit. Jokaisessa varausobjektissa tulee olla tunnistetiedot attribuuttitietoina. Näissä tiedoissa tulee ilmetä varaaaja, varauksen koko sekä tunnistetiedot.

Reikäpiirustusten laatiminen voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla:

### *Vaihtoehto 1*

1. *Rakennesuunnittelija toimittaa TATE:lle 2D- ja 3D-reikäpiirustus pohjat.*
2. *TATE käyttää tekemiään reikävarausobjekteja hyödyksi ja tekee niiden perusteella 2D-reikäpiirustuksen, sisältäen mittaviivat.*
3. *Reikävaraukset mitoitetaan ensisijaisesti moduliverkkoon tai toisena vaihtoehtona saneerauskohteissa olemassa oleviin rakenteisiin.*
4. *2D-reikävaraustiedostot toimitetaan rakennesuunnittelijalle.*
5. *Rakennesuunnittelija tekee tulosteet ja toimittaa reikäkuvat jakeluun. [38].*

### *Vaihtoehto 2*

1. *Rakennesuunnittelija toimittaa TATE:lle 3D-reikäpiirustus pohjat, kerroskohtaisena, absoluutisessa korkeusasemassa.*
2. *TATE tekee reikävarausobjektit toimitetun mallin korkeusasemaan sekä toimittaa tekemänsä reikävarausobjektit rakennesuunnittelijalle IFC-formaattisena.*



3. *Rakennesuunnittelija tekee TATE:n toimittamien reikävarausobjektien perusteella 2D-reikäpiirustukset mittaviivoilla ja mitoituksilla varustettuna sekä tulostaa ja toimittaa ne jakeluun. [38].*

#### *Vaihtoehto 3*

1. *Rakennesuunnittelija toimittaa TATE:lle 3D-reikäpiirustusohjat, kerroskohtaisena, absoluutisessa korossa.*
2. *TATE tekee reikävarausobjektit toimitetun mallin korkoasemaan sekä toimittaa tekemänsä reikävarausobjektit rakennesuunnittelijalle IFC-formaattisena.*
3. *Rakennesuunnittelija tekee 2D-reikäkuvapohjat, joissa näkyvät TATE:n toimittamat reikävaraukset.*
4. *Rakennesuunnittelija laittaa kuviin reikävarausten tietojen mittaviivan (esim. "IU, 300x200, KP=+25.3"). Tämä tieto on otettu TATE:n toimittamista reikävarausobjekteista.*
5. *Rakennesuunnittelija tekee tähän 2D –kuvaan mitoitusviivatason eri suunnittelualoille sillä värillä, jolla he haluavat mitoitusviivat tulostuvan (=viivan paksuus mustavalkotulosteeessa).*
6. *Rakennesuunnittelija toimittaa 2D-reikäkuvapohjat TATE:lle.*
7. *TATE – tekee mitoitusviivat rakennesuunnittelijan tekemälle tasolle käyttäen CAD-ohjelmiston normaaleja mittaviivatyökaluja.*
8. *Reikävaraukset mitoitetaan ensisijaisesti moduliverkkoon tai toisena vaihtoehtona saneerauskohteissa olemassa oleviin rakenteisiin.*
9. *Mittaviivoilla varustetut 2D-reikävaraustiedostot toimitetaan rakennesuunnittelijalle.*
10. *Rakennesuunnittelija tekee tulosteet ja toimittaa reikäkuvat. [38].*

### **2.2.9 Tietomalliselostus**

Tietomalliselostus on jokaisen suunnittelualan ylläpitämä kuvaus mallin sisällöstä, käytetyistä mallinnustavoista ja poikkeamista yleisiin mallinnustapoihin ja vaatimuksiin nähden. Tietomalliselostuksessa ilmenee mihin tarkoitukseen malli on julkaistu ja mikä on sen tarkkuusaste. Tietomalliselosteen avulla muut osapuolet voivat tulkita mallin valmiusastetta, järjestelmien ja rakennusosien nimeämiskäytäntöjä sekä mallin yleistä rakennetta. Tietomalliselostus tulee päivittää aina kun malli julkaistaan muiden osapuolten käyttöön, olipa sitten kyseessä urakkalaskentavaiheen malli tai toteumamalli. [35].

Tietomalliin tehdyt muutokset tulee dokumentoida tietomalliin tai tietomalliselostukseen niin, että kaikki osapuolet voivat ne löytää. Tietomalliseloste tulee nimetä selkeästi, jolloin rakennuskohde voidaan tunnistaa pelkästä tiedostonimestä [35].

Inventointimallista tehtävästä tietomalliselosteesta tulee ilmetä mittaustapa, lähtötiedot, mallintamisperiaatteet ja kaikki mallin käyttöön ja luotettavuuteen vaikuttavat asiat. Tietomalliselosteessa onkin tärkeää selvittää rakenneosat, jotka ovat mallinnettu tarkemittaus-  
ten pohjalta ja ne sijainniltaan epätarkat rakenneosat, joiden sijainti on arvioitu olemassa olevan tiedon pohjalta [36].

### 2.2.10 Suunnitelmien laadunvarmistus

Laadunvarmistuksella tarkoitetaan suunnitelmien laadun parantamista. Laadunvarmistuksen keskeisimmät tavoitteet ovat suunnittelualojen suunnittelijoiden omien suunnitelmien laadun parantaminen, ylläpito sekä osapuolien välisen tiedonsiirron parantaminen suunnitteluprosessia tehostaen.

Tietomallipohjaisten suunnitelmien laadun parantaminen on suunnittelijoiden ja tilaajan yhteistyötä. Laadun parantamisen tarkoituksena on

- parantaa suunnitelmien tasoa ja niiden vastaavuutta tilaajan tarpeisiin
  - parantaa rakentamisen aikataulun ja kustannusten ennustettavuutta
  - helpottaa rakentamisvaihetta
  - vähentää työmaan aikana tapahtuvaa muutossuunnittelua ja muutostöitä
  - saada lopputuloksena toimiva ja tavoitteiden mukainen laadukas rakennus.
- [39].

Suunnittelijan näkökulmasta on tärkeintä mieltää tietomallinnus osaksi normaalia suunnitteluprosessia, jolloin suunnittelija on vastuussa suunnitelmiensa laadusta ja tietomallin tietosisällöstä. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa tietomalliin syötetty tieto käytetään sellaisenaan eri ohjelmistojen välillä kun taas 2D-suunnittelussa kaikki tehdyt merkinnät eivät välity ohjelmistojen välillä. [39].

Tietomallin tarkastusmenetelmänä käytetään kahta eri päämenetelmää, jotka voidaan luokitella karkeasti tarkastamiseen ja analyysiin. Tarkastamisella tarkoitetaan tiedon tarkastamista sellaisenaan. Tällöin on oltava *referenssitieto*, johon tarkastettavaa tietoa voidaan verrata ja mitata. Eri suunnittelualojen osien törmäystarkastelu on yksi tyypillisimmistä tarkastettavista asioista, joka voidaan toteuttaa ohjelmallisesti. Myös visuaalinen tarkastaminen on oleellista. Visuaalisessa tarkastuksessa verrataan tietomallin visuaalista näkymää tarkastajan omaan käsitykseen verrattuna. Visuaalinen tarkastus onkin helposti omaksuttava ja usein tehokas menetelmä, mutta altis inhimillisille virheille. Analyysin periaatteena on tuottaa tietomallista jalostettua tietoa, jota on helpompi tulkita ja arvioida tiedon oikeellisuutta ja laatua. Analyysissä ei yleensä saa selviä virhe ratkaisuja vaan sen avulla saadaan selville suuruusluokka ongelmia, joiden syyt on selvitettävä tapauskohtaisesti. [39].

Tietomallien laadunvarmistus voidaan jaotella viiteen laajuudeltaan ja tarkoitukseltaan erilaiseen tasoon:

- lähtötietomalli
- tilamalli
- rakennusosamalli
- järjestelmämalli
- yhdistetty malli.

Tietomallien eri vaiheiden laadunvarmistuksessa tehtävät ja tarkastukset kuvataan ”Yleiset tietomallivaatimukset ohjeen osassa 6, laadunvarmistus”.

*Kaikissa tilanteissa suunnittelija on vastuussa toimittamiensa tietomallien laadusta. Tilaajan tai tietomallien laadunvarmistajan hyväksyntä ei poista tai vähennä suunnittelijan vastuuta. Vastuu on siis virheen tekijällä eikä sillä, joka ei virhettä huomannut [39].*

## 2.3 Olemassa olevien rakenteiden selvitykset

Tässä luvussa käsitellään olemassa olevien rakenteiden tutkimustapoja ja nykyisin käytettäviä sijaintitietojen selvitysmenetelmiä. Sijaintitietojen selvitystavoissa annetaan tarkkuudet mihin tarkasteltavalla mittaustavalla voidaan päästä.

Yleisesti rakennuksesta tarvittavat selvitykset koostuvat rakennuksen dokumenteista, rakenneselvityksistä ja kuntotutkimuksesta, taulukon 2 mukaisesti.

**Taulukko 2.** Yleiset rakennuksen selvitykset ”perustuu lähteeseen [22]”.

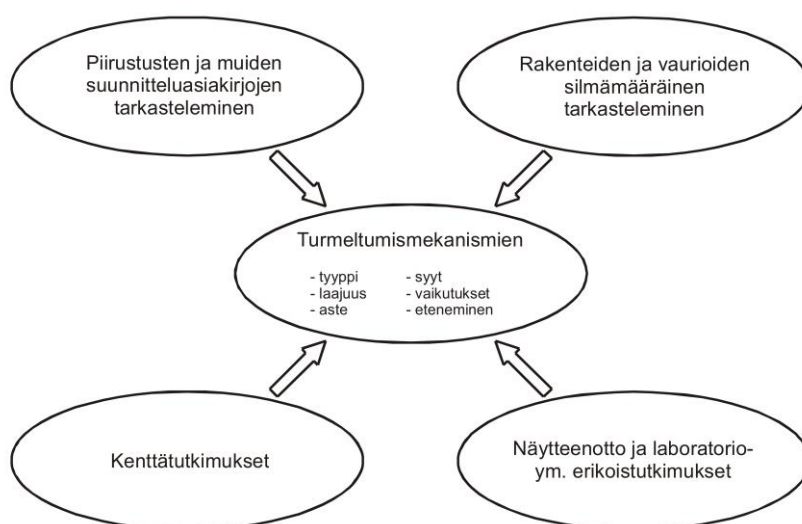
RAKENNUKSEN DOKUMENTOINTI	RAKENNESELVITYS	KUNTOTUTKIMUS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitat</li> <li>• Tilat</li> <li>• Materiaalit</li> <li>• Historialliset selvitykset</li> <li>• yms.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kantavat rakenteet</li> <li>• Muut rakenteet</li> <li>• Materiaalit</li> <li>• Liitokset</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eri vaurioiden tila</li> <li>• Rakenteiden toimivuus</li> <li>• Korjaustarve</li> <li>• Sopivat korjausmenetelmät</li> <li>• Haitta-aine selvitykset</li> </ul>

Mittausten laadunvalvonnan tehtävänä on varmistaa mittausten tarkkuus ja tulosten luotettavuus. Tätä varten on luotu maanmittauslaitoksen mittausohjeet. Hyvällä mittaustavalla tarkoitetaan, että mittauksissa sovelletaan käytännössä hyviksi koettuja mittausmenetelmiä ja yleisesti hyväksyttyjä mittauslaitteita ja tekniikoita [9].

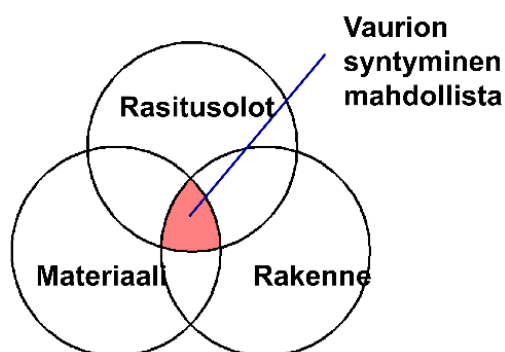
### 2.3.1 Kuntotutkimukset

Kuntotutkimuksilla on tarkoitus selvittää olemassa olevien rakenteiden kuntoa ja haitta-aineiden pitoisuuksia rakenneavausten ja näytteiden avulla. Kuntotutkimukset ovat oleellinen osa rakennuksen korjaussuunnittelua. Tutkimukset antavat välttämättömät lähtötiedot korjausvaihtoehtojen vertailua ja laajuutta varten.

Kuntotutkijan on tärkeää tunnistaa eri aikakausien rakenteet ja rakenteiden turmeltumismekanismit. Turmeltumismekanismien tietolähteet kuvataan kuvassa 14. Mekanismeista aiheutuneiden vaurioiden tunnistaminen voi olla paikoin hankalaa, johtuen rakennusten yksilöllisyydestä, eri aikakausien rakennustavoista tai materiaalivalinnoista. [2]. Kuntotutkimuksen tekijältä vaaditaan vankkaa ammattiosaamista luotettavien tulosten saamiseksi. Tutkimuksen tekijällä on oltava tarvittavat työkalut ja laitteet näytteiden ottamista ja analysointia varten sekä tutkijalla tulee olla mahdollisuus analysoida tai lähettää otetut näytteet analysoitavaksi. Kuvassa 15 esitetään yksinkertaistetusti milloin vaurion syntyminen on mahdollista.

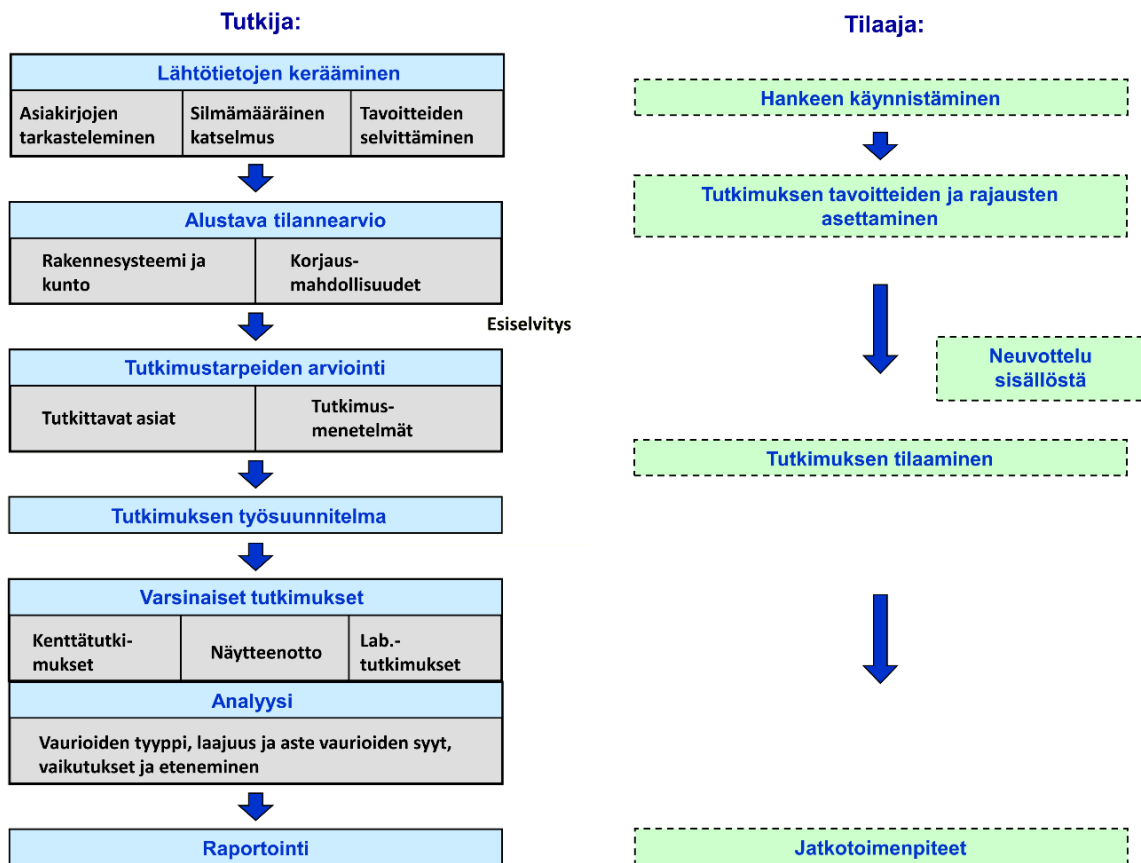


**Kuva 14.** Tietolähteet joita on pyrittävä hyödyntämään selvitettäessä eri vauriotapojen tilannetta ja selvittämistä [2].



**Kuva 15.** Vaurioiden syntymekanismi [22].

Kuntotutkimuksen vaiheet ovat melko selkeitä peräkkäisiä toimenpiteitä, jotka voivat olla osittain päällekkäisiä tapahtumia. Kuvassa 16 vasemmalla reunalla esitetään kuntotutkimushankkeen pääpiirteittäinen eteneminen kuntotutkimuksen suorittajan näkökulmasta ja oikealla reunalla kuntotutkimuksen vaiheet tilaajan näkökulmasta.



**Kuva 16.** Kuntotutkimuksen suositeltava kulkukaavio [22].

Kuntotutkimuksen tarkoituksena on selvittää rakenteiden kuntoa, materiaaleissa ja sisäilmassa olevia haitta-aine pitoisuuksia ja rakenteiden vaurioita aiheuttavia vauriotekijöitä. Kaikille materiaaleille on annettu omat haitta-aine pitoisuuksien raja-arvot, joita ne saavat tuottaa ilmaan. Rakenteiden haitta-ainepitoisuudet eivät saa ylittää näitä raja-arvoja. Karoitettavat osa-alueet riippuvat paljon tutkittavan rakenneosan rakenteesta ja materiaaleista.

### 2.3.2 Vanhat suunnitelmat

Alkuperäiset asiakirjat ovat yksi tärkeimmistä asioista, joita tarvitaan kartoittamaan rakennuksen korjaustarvetta, elinkaarta ja tutkimustarvetta. Vanhat suunnitelmat voivat kuitenkin poiketa huomattavasti todellisuuteen nähden. Poikkeavuudet voivat johtua:

- rakennuksen elinkaaren aikana tehdyistä korjaus ja muutostöiden muutoksista
- rakennusaikaisista muutoksista joita ei ole aina päivitetty suunnitelmiin

- rakennuksen mittapoikkeamista suunniteltuun.

Kaikkia tarvittavia asiakirjoja ei ole kuitenkaan aina saatavilla lähtötiedoksi. Nämä puuttuvat asiakirjat voivat olla joko niin haalistuneita, hauraita tai vaurioituneita ettei niitä voi hyödyntää. Kohteen asiakirjoja ei myöskään aina luovuteta arkistosta rakennuksen turvaluokitusten vuoksi. Pahimmillaan osa asiakirjoista on saattanut ajansaatossa kadota.

Asiakirjoista voidaan saada selville muun muassa rakennuksen

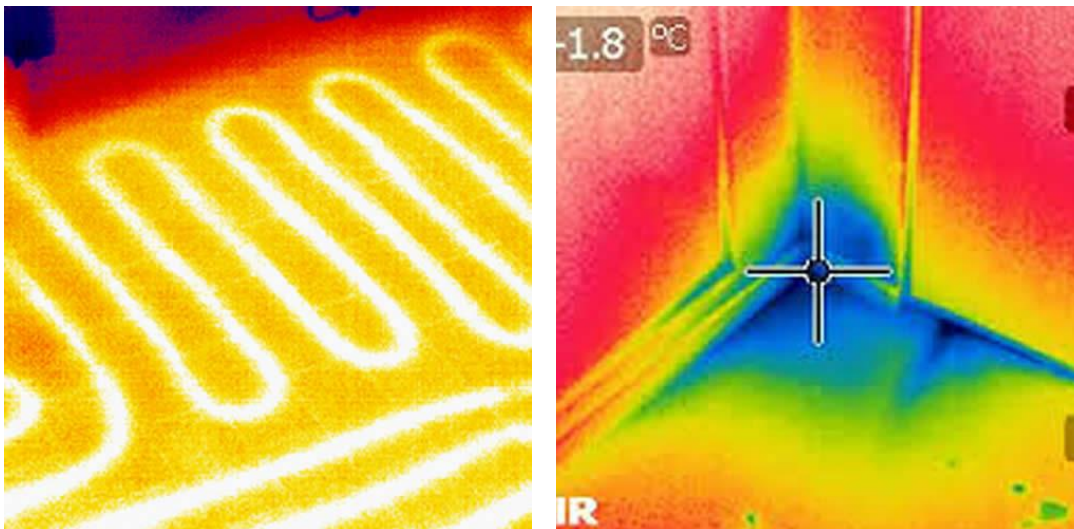
- rakennusvuosi
- laajuus- ja rakennuksen tiedot
- kantavuustiedot
- materiaalitiedot
- mitta- ja korkomaailma
- tehdyt muutokset rakennusajan ja elinkaaren aikana
- rakentajan tiedot
- käytetyt materiaalit ja tavat.

### 2.3.3 Lämpökamerakuvaus

Lämpökameralla vastaanotetaan lämpösäteilyä, jolla voidaan mitata kuvauskohteen pinnasta luonnostaan lähtevää lämpösäteilyä. Lämpökameran ilmaisimien muuttama lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoston digitaalseksi lämpökuvaksi [33]. Lämpökameran kuvitettu perusperiaate esitetään kuvassa 17. Kuvassa 18 on esitetty lämpökameralla otettuja kuvia, joista voidaan selvästi erottaa rakenteessa olevat putkistot ja kylmäsaumat. Putkistot erottuvat selkeästi lämpökamerakuvasta keltaisen sävyisenä ja kylmäsaumat sinisen sävyisenä, joka kuvaa kylmiä pintoja.



*Kuva 17. Lämpökameran periaatekuva [33].*



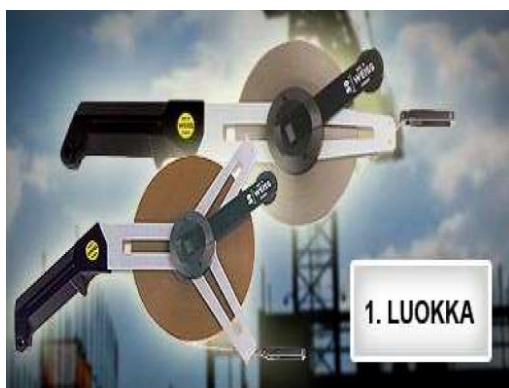
**Kuva 18.** Lämpökamerakuvat rakennuksen lattiasta ja ulkoseinän nurkasta [24].

Lämpökamerat voidaan jakaa kahteen eri päätyyppiin, mittaaviin ja ei-mittaaviin kameroihin. Mittaavia kameroita käytetään kiinteistöjen kuntotarkastuksissa lämpökorreloivien vikojen paikantamiseen. Ei-mittaavia lämpökameroita käytetään yleensä etsintä- ja valvontatehtävissä.

Yleisempiä mittausominaisuuksia ovat määritellyn pisteen ja alueen lämpötilamittaus. Lämpötilan erotuskyky voi olla parhaimmillaan 0.02 astetta. Mittaustarkkuuteen vaikuttaa eniten ilman lämpötila ja etäisyys mitattavaan pisteeseen [33].

### 2.3.4 Perinteiset rakennusmittausvälineet

Perinteisillä mittausvälineillä tarkoitetaan mittaustapoja, joita on käytössä suurimmalla osalla mittauksien suorittajista. Perinteisin ja eniten käytetty mittaväline on mittanauha. Mittanauhat jaotellaan kansainvälisiin tarkkuusluokituksiin, 1, 2 ja 3 luokkaan. Mittanauhalla ei voida päästä tarkkoihin globaaleihin mittaustarkkuuksiin. Tarkkuuserot johtuvat maaston epätasaisuuksista ja ilman lämpötila-eroista verrattuna mittanauhan kalibroimislämpötilaan. Kuvassa 19 esitetään luokan 1 mittanauha.



**Kuva 19.** Tarkkuusluokan 1 mitta.

Mittanauhan tarkkuusluokkien pituustoleranssit ovat:

1.  $\pm (0,1 + 0,1 \times L)$  mm
2.  $\pm (0,3 + 0,2 \times L)$  mm
3.  $\pm (0,6 + 0,4 \times L)$  mm

Kaavojen L-kirjaimella tarkoitetaan mitattavaa etäisyyttä.

Kymmenien metrien mittauspituuksien mittavirheeseen vaikuttaa:

- lämpötila
- mittanauhan painuma mittapisteiden välillä
- maanpinnan korkeusvaihtelut mittauspisteiden välillä
- mittanauhan nauhakorjaus. [16].

Perinteisiin mittalaitteisiin voidaan luokitella myös vaaituskojeet. Kuvassa 20 on esitetty perinteisiä vaaituskojeita. Vaaituskojeet voivat olla manuaalikäyttöisiä korkotason mittauksen käytettäviä apuvälineitä. Vaaituskojeet voidaan jakaa neljään eri ryhmään:

- tasainkojeet
- itsetasaavat kojeet
- digitaaliset kojeet
- taso- ja linjalaserit. [16].



**Kuva 20.** Perinteiset vaaituskojeet [16].

Vaaituskojeet voidaan ryhmitellä tarkkuuden ja käyttötarkoituksen mukaan seuraavasti:

1. Rakennusvaaituskojeet
  - kaukoputken suurennos on noin 20-kertainen
  - kilometrin edestakaisen vaaituksen keskihajonta vaihtelee 5...15 mm välillä
2. Yleisvaaituskojeet
  - kaukoputken suurennos on noin 25...30 kertainen
  - kilometrin edestakaisen vaaituksen keskihajonta vaihtelee 1...2 mm välillä
3. Tarkkavaaituskojeet
  - kaukoputken suurennos on noin 30...40 kertainen



- kilometrin edestäkaisen vaaituksen keskihajonta on alle 0.5 mm. [16].

Tasolaserin toimintaperiaatteena on tuottaa valonsäde, joka pyöriessään muodostaa tason haluttuun kulmaan. Yleisimmin tasot ovat vaakasuorassa tai kohtisuorassa ylöspäin. Usein tulee vastaan myös tilanteita, jolloin taso tulee olla poikkeavasti vaaka- tai pystytasoon nähden kuten salaojat, joiden tulee toimivuuden kannalta olla kallistettuna haluttuun suuntaan nähden. Laserin tuottama säde voi olla näkyvää valoa tai ihmisen silmälle näkymättömän infrapunaista valoa [16]. Kuvassa 21 on esitetty periaatekuva tasolaserin toimintaperiaatteesta.



**Kuva 21.** Tasolaser [16].

Tasolaserilla voidaan päästä  $\pm 3$  mm) korkotarkkuuteen 50 metrin etäisyydeltä mittalaitteeseen nähden.

### 2.3.5 Satelliittipaikantimet

Täkymetrimittauksen ohella satelliittimittaus on tärkein maastossa ja rakennustyömailla tehtävien mittausten menetelmä. Paikannus perustuu satelliittien lähettämien signaalien tunnistamiseen. Nämä signaalit muodostuvat kolmesta osasta, kantoaalloista, paikannuskoodeista ja navigointiviestistä.

*Kantoaallot joita on uusimmissa satelliiteissa kolme:*

- $L1, f=1575.42 \text{ MHz}, \lambda=19 \text{ cm}.$
- $L2, f=1227.60 \text{ MHz}, \lambda=24 \text{ cm}.$
- $L1, f=1176.45 \text{ MHz}, \lambda=26 \text{ cm}.$

*Paikannuskoodit, joita on kaksi:*

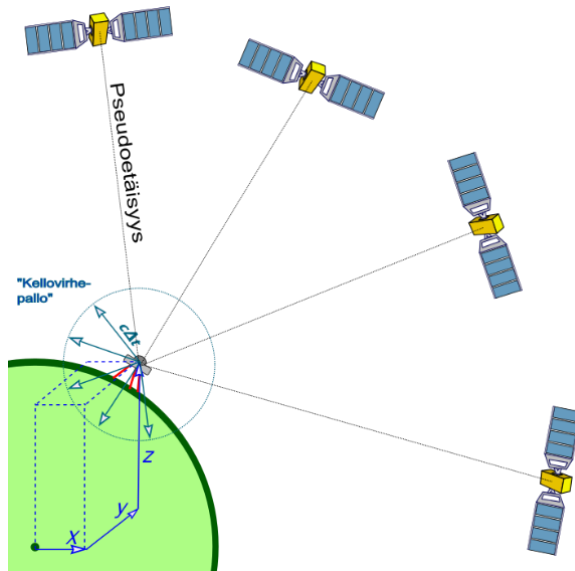
- *P-koodi  $L1$  ja  $L2$  taajuuksilla, joka on tarkoitettu sotilaskäyttöön.*
- *C/A koodi taajuudella  $L1$ , joka on tarkoitettu siviilikäyttöön. Uusimmissa satelliiteissa on myös käytössä  $L2$ -taajudella.*

*Navigointiviesti, jonka osia ovat:*

- *aikaan liittyvät tiedot*
- *satelliittien ratatiedot eli almanakkatiedot ja efemeridit*

- *satelliittien terveydentilatiedot. [16].*

Jotta mittaustieto olisi luotettavaa, on mittaussignaali saatava vähintään kolmen eri sijainniltaan tunnetun satelliitin lähettämästä signaalista. Kuvassa 22 on esitetty periaate satelliittipaikannuksesta.



**Kuva 22.** *Satelliittipaikannuksen periaate [16].*

Satelliittipaikannuksessa voidaan käyttää useita eri mittaustapoja. Mittaustavat voidaan jaotella mittauksissa käytettäviin havaintosuureisiin, systemaattisiin virheiden korjaamistekniikkoihin ja havaintolaitteiden lukumäärään. Perusmittaukset ovat absoluuttinen paikannus, differentiaalinen paikannus ja vaihehavaintoihin perustuva suhteellinen mittaus.

Perusmittauksien havaintotarkkuudet ovat[16]:

- Absoluuttinen paikannus on navigointilaitteisto, jolla päästään 5-10 metrin tarkkuuteen.
- Differentiaalinen paikannus, jolla voidaan korjata tietyt mittauksen systemaattiset virheet tunnetulla pisteellä olevan tukiaseman avulla. Paikannuksella päästään 0.5-5 metrin tarkkuuteen.
- Vaihehavaintoihin perustuva suhteellinen mittaus, jolla voidaan päästä jopa 0.05 metrin tarkkuuteen, parhaimmillaan mittaus tarkkuus voi olla muutamia millimetrejä. [16].

### 2.3.6 3D-mittaustekniikat

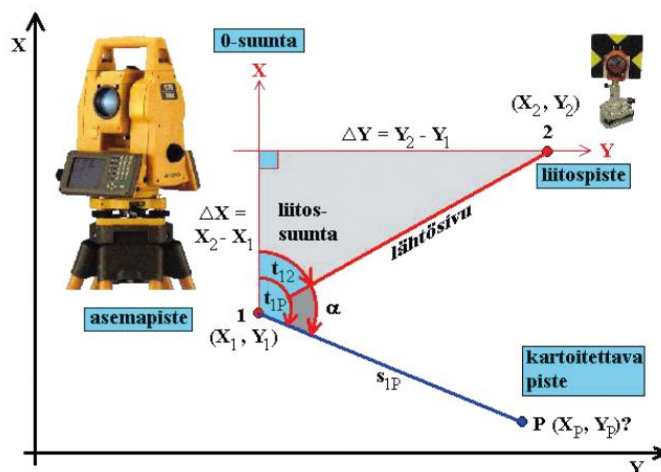
#### Täkymetri

Täkymetri ei varsinaisesti kuulu mittaustavaltaan 3D-mittausmenetelmiin, mutta laitteella voidaan tuottaa harvajakoinen pistepilviaineisto. Aineisto voidaan viedä suoraan

tietomallipohjaiseen ohjelmistoon. Aineistoa voidaan pitää pistepilviaineistona, jossa pisteiden määrä on vähäinen verrattuna esimerkiksi laserkeilaukseen.

Täkymetri on mittauksessa käytettävä mittalaite, jolla mitataan polaarisesi pisteiden sijainteja kojeeseen nähden. Ensisijaisesti täkymetri on kuitenkin kulman- ja etäisyyden mittaamiseen tarkoitettu mittauskoje. Täkyetrin oleellisena osana on tietokone, joka mahdollistaa mittauksien toteuttamisen monipuolisesti. Mittaus voidaan toteuttaa prismallisella ja prismattomalla mittaustavalla. Nykyään kojeet ovat kehittyneet pitkälle automatisoiduiksi mittausröboteiksi ja kehittyneimmillä kojeilla voidaan nykyään skannata ja valokuvata mittauskohdetta kulma- ja etäisyys mittauksen ohella [16].

Täkyetrin etäisyyden mittaustapaa kutsutaan elektro-optiseksi etäisyydenmittaukseksi. Elektro-optisessa etäisyydenmittauksessa etäisyys määritetään kojeen ja tähtäyspisteessä olevan prisman välillä heijastuvan signaalin avulla. Mittauksessa voidaan käyttää hyväksi kantoaaltojen amplitudimoduloitua mittaussvärehtelyä tai pulssimoduloitua signaalia. [16]. Kuvassa 23 on esitetty täkyetri ja sen mittauseriaate.



**Kuva 23.** Täkyetrimittauksen periaate [16].

Kentällä tehtäviin mittauksiin vaikuttaa eniten:

- kojevirheet
- orientointivirheet
- etäisyysmittavirheet
- prismankäyttövireet, kuten korkeustason muuttaminen prisman ollessa epäsuorassa
- rankka sade tai sumu
- hyvin pienen eron aiheuttaa lämpötilan ja ilmanpaineen vaihtelut. [16].

Täkyetrillä voidaan tehdä merkintämittausta ja kartoitusmittausta. Olemassa olevan rakenteen kartoitus tapahtuu ottamalla kojeella valitusta pisteestä x-, y- ja z-koordinaatit

[29]. Nämä kohteesta otetut pisteet voidaan viedä 3D-suunnitteluohjelmaan lähtötiedoiksi. Lähtötietomallin luonti täkymetrimittatusta datasta vaatii mittaajalta hyvää näkemystä ottaa riittävä määrä mittauspisteitä tarkasteltavasta kohteesta.

Täkymetrien mittaustarkkuudet vaihtelevat mittakojeen mukaan. Usean prisman mittauksessa voidaan päästä GeoMax zoom 80 kojeella jopa 10 km mittausetäisyydellä 5 mm + 2 ppm etäisyyden mittatarkkuuteen.

Kun taas, esimerkiksi GeoMax zoom 20 laitteella voidaan päästä seuraaviin tarkkuuksiin.

etäisyyden mittaus prismaan 3000 metrin etäisyydellä

- 2 mm + 2 ppm

prismattomalla mittauksella 250 metriin

- 3 mm + 2 ppm

### **Laserskannerit**

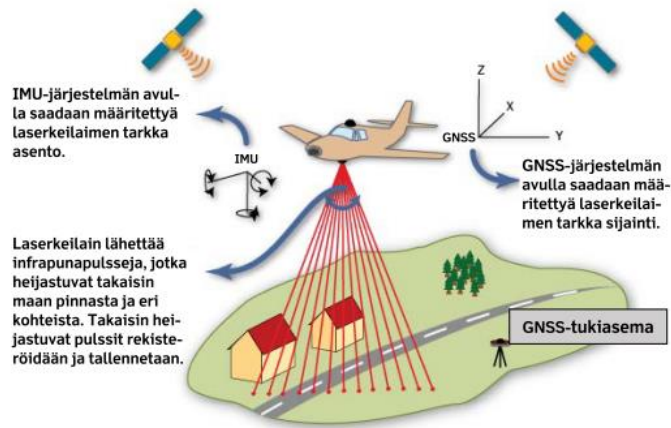
Laserskannerit ovat yksittäisten osien tai kokonaisuuksien skannaamiseen tarkoitettuja laitteita. 3D-skannereita voidaan jakaa kahteen ryhmään, kontaktittomiin ja kontakti 3D-skannereihin. Kontakti 3D-skanneri mittauksessa skannerin mittapäätä liikutetaan skannattavan rakenteen pintaa pitkin.

Kontaktittomat 3D-skannerit voidaan jakaa toimintatavaltaan aktiivisiin ja passiivisiin skannereihin. Passiiviset skannerit tunnistavat ympäristöstä heijastuvaa säteilyä kuten valoa tai lämpösäteilyä. Aktiiviset skannerit lähettävät puolestaan mitattavaan pintaan säteilyä tai valoa ja tunnistavat kohteen pinnan heijastumasta kappaleen muodot. Heijastumien avulla kontaktittomat skannerit muodostavat kuvan kohteesta. [1].

### **Laserkeilaus**

Laserkeilain on mittalaite, joka lähettää lasersäteitä mitattavaan kohteeseen. Samalla pysytään kartoittamaan ympäristön pintoja nopeasti jopa useita satoja tuhansia mittauksia sekunnissa ilman, että mittatarkkuus häviää. Keilaimella luodaan mitattavasta kohteesta kolmiulotteinen pistepilvi.

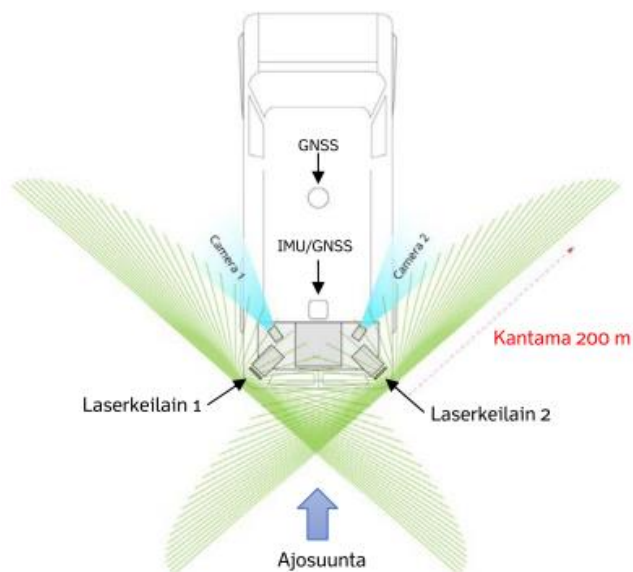
Laserkeilaus tyyppejä on erilaisia. Nämä tyypit voidaan luokitella ilmalaserkeilaukseen (kuva 24), maalaserkeilaukseen (kuva 25), ajoneuvolaserkeilaukseen (kuva 26) ja teollisuuslaserkeilaukseen. Maalaserkeilauksen mittausmenetelmä muistuttaa monella tapaa mittausta prismattomalla täkymetrillä [16].



**Kuva 24.** Ilmalaserkeilauksen periaate [21].



**Kuva 25.** Maalaserkeilauksen periaate [21].



**Kuva 26.** Ajoneuvolaserkeilausperiaate [21].

Laserkeilattua pistepilviaineistoa voidaan käyttää hyvänä lähtötietoaineistona mallinnettaessa rakenteiden nykytilamallia. Laserkeilaamalla pystytään kartoittamaan rakenteen tarkka muoto ja sijainti kaikilta näkyviltä pinnoilta. Kuvassa 27 on havainnollistava esitys pistepilvimallista, johon on liitetty valokuvattu väritieto.



**Kuva 27.** Ote rakennushistoriallisen kohteen laserkeilausmittauksen pistepilvestä, johon on liitetty valokuvattu väritieto, Turunlinnan herrainkellari [36].

Laserkeilauksen mittaus perustuu siihen, että mittalaitteessa on nollakohta. Nollakohdasta lähtee liikkeelle lasersäde, jonka avulla mitataan kohteen etäisyys mittalaitteesta. Laserkeilaimien mittaustapoja on erilaisia. Näitä mittaustapoja ovat valon kulkuajan perusteella tai vaihe-eromittauksella tapahtuva etäisyyden mittaus. Valon kulku aikaan perustuvilla keilaimilla voidaan mitata pidempiä matkoja kun taas vaihe-eromittausta voidaan käyttää lyhempiin mittausetäisyyksiin [16].

Laserkeilaimen pistepilvidatan vienti mallinnusohjelmaan tapahtuu pistepilven käsittelyohjelmalla. Pistepilviaineistosta joudutaankin lähes poikkeuksetta karsimaan tarpeettomia ja ylimääräisiä pisteitä pois. Samalla ohjelmistolla voidaan eri pistepilviaineistot yhdistää samaan koordinaatistoon lähtötietoaineistoa varten. [16].

Laserkeilaimien tarkkuuteen vaikuttavat niiden liikkuvuus, etäisyys mitattavaan kohteeseen sekä laitteiston pulssitiheys. Lentolaserkeilaimilla voidaan päästä jopa 5 kilometrin mittausetäisyyksiin.

Eri keilaimien mittausetäisyydet ja tarkkuudet ovat:

- teollisuuslaserkeilaimella
  - mittausetäisyys alle 30 m
  - mittatarkkuus alle 1mm
- maalaserkeilaimella
  - mittausetäisyys yhdestä metristä satoihin metreihin
  - mittatarkkuus alle 1 cm

- ajoneuvolaserkeilaus
  - mittausetäisyys 1-100 m
  - mittatarkkuus 2-5 cm
- lentolaserkeilaus
 

○ mittausetäisyys	500 m	3500m
○ mittatarkkuus vaaka	7 cm	38 cm
○ mittatarkkuus pysty	6 cm	14 cm. [21].

## Fotogrammetria

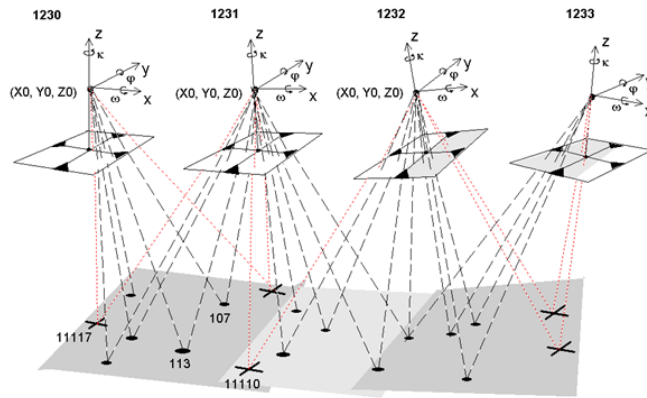
*Fotogrammetriaan* perustuva mittaaminen on rakennusmittauksia tehtäessä varsin tuntematon käsite vaikka fotogrammetria ei olekaan uusi tieteenala, sillä se on saanut alkunsa valokuvauksen keksimisen jälkeen 1850-luvulla. Teknisen kehityksen myötä termi on laajentunut tarkoittamaan paitsi valokuvia myös muunlaisen sähkömagneettisen säteilyn tuottamia kuvia sekä digitaalista kuvamateriaalia. Kuvat voivat olla tuotettu suoraan digitaaliseen muotoon tai skannattu analogisesta kuvasta. Tyypillisesti fotogrammetrian avulla on tuotettu karttoja ja maastopiirustuksia [34].

Fotogrammetrian eli kuvamittaus menetelmin on mahdollista tuottaa kaksiulotteisista valokuvista kolmiulotteinen *pistepilvi*-esitys yksittäisestä esineestä aina kokonaiseen rakennukseen. Valokuvissa esiintyvien yhteisten piirteiden avulla on mahdollista selvittää valokuvien keskinäiset suhteet. Näin saadaan tietoon miltä mallinnettava kohde näyttää eri suunnista katsottuna ja joiden avulla on mahdollista tuottaa kohteesta kolmiulotteinen malli [20]. Parhaiten kuvamittaus soveltuu kohteisiin joissa mitattavia yksityiskohtia on runsaasti kuten esimerkiksi koristeellisissa julkisivuissa.

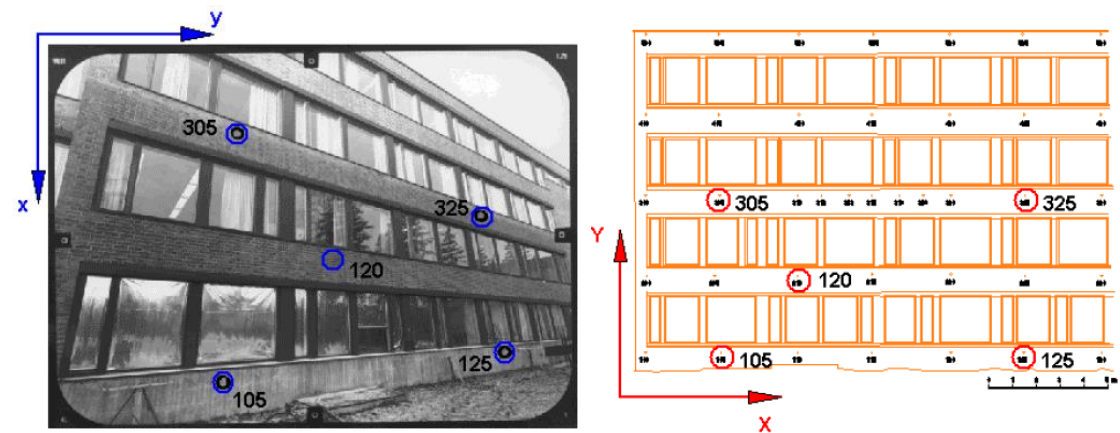
Fotogrammetria voidaan jakaa kahteen eri osa-alueeseen, ilma- ja lähifotogrammetriaan. Osa-alueet voidaan jakaa vielä kolmeen kehitysvaiheeseen: analogiseen, analyyttiseen ja digitaaliseen. Analogisessa fotogrammetriassa kuvien sijainnit ja suhteet ratkaistaan mekaanisilla kojeilla kuten stereoskoopilla tai projektiokojeilla. Analyyttisessä fotogrammetriassa käytetään yhä analogisia valokuvia mutta niiden perusteella tehdyt laskennat suoritetaan tietokoneella. Digitaalinen fotogrammetria taas analysoi vain digitaalivalokuvia tietokoneen avulla. [20]. Kuvassa 28 esitetään ilmafotogrammetrian periaate.

Kuvia käsitellessä fotogrammetriaohjelman täytyy laskea kameran positio jokaisesta kuvanottohetkestä. Kameran tarkan sijainnin määrittäminen on tärkeää sillä silloin voidaan päästä hyvään mittaustarkkuuteen. Kameran tarkka sijainti saavutetaan kun eri kuvista voidaan pystyä tunnistamaan vähintään 12 yhteistä pistettä ja samalla pisteiden tulisi kattaa mahdollisimman laaja alue kuvausalaan nähden. Fotogrammetria ohjelman automaattisesti tunnistettavien pisteiden käyttö lisää lopputuloksen tarkkuutta. [6]. Kuvassa 29 on esitys fotogrammetrian mittaustavasta.





**Kuva 28.** Ilma-fotogrammetrian periaate [6].



**Kuva 29.** Julkisivun valokuva ja progressiivinen oikaisu lähifotogrammetria osa-alueessa [6].

## Videodigitointi

Videodigitoinnilla tarkoitetaan kohteen kolmiulotteisen muodon määrittämistä kuvattujen videokuvien avulla. Videodigitoinnin avulla luodaan ns. fotorealistisia malleja. Näillä malleilla tarkoitetaan matemaattisesti sekä visuaalisesti näyttäviä kolmiulotteisia kokonaisuuksia. Videodigitointi toimii pitkälle samalla periaatteella kuin fotogrammetria. 3D-videodigitoinnin etuna fotogrammetriaan nähden voidaan pitää videokuvausta sillä videokuvaus on yksi tehokkaimmista kuvahavaintojen keruutapoja. Samalla menetelmä mahdollistaa erilaisten kohteiden digitoinnin aina kun kuvaaminen on mahdollista. [19].

Kuvanauhasta voidaan valita koko kohteen alueelta kuvia, joista muodostetaan stereokuvapareja. Näiden kuvaparien avulla voidaan suorittaa kolmiulotteista stereotarkastelua. Stereokuvapareille tulee tehdä ensin kuvan oikaisu tasoon nähden, koska kuvat eivät välttämättä ole otettu samalta kuvausetaisyysdeltä mitattavaan kohteeseen nähden. Kuvapa-



reista kootaan koko kohteen peittävä kuvablokki. Tasoon oikaisun jälkeen kuvista luodaan kokonaiskuva, josta voidaan mitata osia fotogrammetrian tavoin ja laskea kohdekoordinaatit. [19].

Kuvablokin kuvapareille täytyy tehdä yhteensovitus. Yhteensovituksella tarkoitetaan kohteen XYZ -koordinaattien yhdistämistä, jonka pohjalta tuotetaan kolmiulotteinen pistepilvimalli ja jonka koordinaateista laskettu malli voidaan suhteuttaa todelliseen kohdeympäristöön. [19].

### **Fotogrammetrian ja videodigitoinnin tarkkuudet**

Laboratorio olosuhteissa Photomodeller ohjelmistolla ja mittaukseen tarkoitettulla erikoiskameralla voidaan päästä jopa 0.1mm tarkkuuteen käytettäessä kalibroitipisteitä. Tähän tarkkuuteen on päästy kolmen metrin kuvausetäisyydeltä kohtisuoraan mitattuna 68 % peittosuhteella [4]. Kuvasta toteutettavaan mittaukseen on tehty käytännön tutkimuksia, muttei niissä päästy edellä olevaan tarkkuuteen.

Fotogrammetrian ja videodigitoinnin tarkkuuteen vaikuttavat huomattavasti kameran ominaisuudet, kuvien määrä sekä kuvaolosuhteet. Kuvien laatuun vaikuttavat myös kameran optiikka, kuvan vaaka- ja pysty akselin suhde erot sekä kameran kuvaportista aiheutuvat virheet jotka voivat vääristää kuvan geometriaa. Useimmat laadukkaat kamerrat voidaan kuitenkin kalibroida niin tarkasti, että kuvasta saadaan poistettua optiikasta aiheutuvat virheet.

### **3. KORJAUSRAKENNUSHANKKEEN TIETOMALLIPERUSTEINEN SUUNNITTELU**

Tässä luvussa esitetään tutkimus sekä kuvataan tutkimuksen osa-alueet. Samalla havainnoidaan kohteen suunnittelun etenemistä lähtötietojen saamisesta suunnitelmien tietomallipohjaiseen tuottamiseen. Tämä luku sisältää teoreettista taustaa, jota on täydennetty omilla havainnoilla Case-kohteen toteutuksen edetessä.

#### **3.1 Tutkimusmenetelmän valinta**

Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa tietomallipohjaisesti rakennuksen peruskorjauksen korjaussuunnitelma sekä muodostaa lähtötietoaineiston pohjalta rakennemalli. Pääpainona ovat lähtötietojen selvitystekniikat ja materiaalitietojen esittäminen tietomallissa. Yleisissä tietomalliohjeissa mallintamalla toteutettava suunnittelu ja rakentaminen painottuvat uudisrakentamisen osalle, jolloin korjausrakentamisen osa-alue jää suurelta osin sovellettavaksi uudisrakentamisen ohjeiden perusteella. Tutkimusmenetelmäksi valittiin tapaustutkimus, jota on täydennetty kirjallisuusselvityksellä.

Kirjallisuusselvityksen avulla saadaan muodostettua taustateoria rakennuksen tietomallipohjaisesta suunnittelusta, nykyisestä rakennuskannasta ja erilaisista lähtötietojen selvitystekniikoista. Tapaustutkimuksessa perehdytään yksittäisen rakennuksen olemassa olevan rungon lähtötietojen selvittämiseen ja niiden tietojen esittämiseen tietomallissa. Tutkimuksessa käsitellään yleisellä tasolla myös korjausrakentamisessa tapahtuvaa tietomallintamisen ongelmakohtia.

Tutkimuksen ajankohta Case-kohteen rakentamisessa ajoittuu suunnittelun lähtötietojen kokoamiseen olemassa olevasta aineistosta ja suunnitteluprosessiin. Tutkimuksessa ei käsitellä työmaa-aikaisia tapahtumia koska ne painottuvat tutkimuksen jälkeiseen ajanjaksoon.

#### **3.2 Case kohteen esittely**

Case-kohteena on 1930-luvulla rakennettu ja 1962 laajennettu kolmikerroksinen kellarilinen liike- ja toimitilarakennus. Case-kohteen tunnistetietoja ei tässä tutkimuksessa tulla tarkemmin julkaisemaan. Case-kohteella on historiallisesta arvoa, minkä seurauksena julkisivut on suojeltu historiallista rakennusperintöä vaalien.

Case-kohde on osa suurempaa rakennuskokonaisuutta, johon kuuluvat uudisrakennus, Case-kohteeseen liittyvä laajennusosuus sekä kaksi peruskorjausosaa. Tutkimuksessa käsitellään ainoastaan peruskorjattavaa rakennusta.

Olemassa olevan rakennuksen kantava runko muodostuu massiivitiilirakenteisista ulkoseinistä, jotka tukeutuvat maanalaisilta osiltaan betonimuuriin. Välipohjat koostuvat kotelopalkkirakenteisista ja laattapalkkirakenteisista kokonaisuuksista. Nämä väli- ja yläpohjat tukeutuvat kantaviin massiivitiiliseiniin ja keskialueelta betonipilareihin. Kohteeseen on tehty korjaustoimenpiteitä vuonna 1962 toteutetun laajennuksen yhteydessä. Tällöin rakennuksen matalaa osaa korotettiin kerroksella, jolloin rakennuksesta muodostui tasakorkuinen kokonaisuus.

### 3.3 Rakennushankkeen vaiheet ja lähtötilanteen tiedot

Korjausrakentamisen toteuttamisen onnistumisen edellytyksenä on järjestelmällisesti etenevä rakennusprosessi. Korjausprosessissa tulee tiedostaa kaikki keskeiset tehtävät, jotka organisoidaan siten, että kaikki olennaiset tehtävät tulevat tehtyä oikeassa järjestyksessä ja oikeaan aikaan.

Hankkeen lähtökohtana ovat käyttäjien tarpeet ja vaatimukset tilojen laadulle, toiminnollisuudelle, muuntojoustavuudelle ja elinkaariedullisuudelle. Näiden tavoitteiden selvittämistä varten tehdään hankesuunnitelma. Korjausrakennushankkeen vaiheet voidaan jaotella tarveselvitykseen, hankesuunnitteluun, toteutussuunnitteluun, rakentamisvaiheeseen ja käyttöönottoon. [26]. Kuvassa 30 esitetään rakennushankkeen tehtävien kokonaisuus ja sen muodostuminen osapuolitehtävistä ja vaihetehtävistä. Viivoitetulle alueelle osuvat hanketta varten perustettavan toteuttamisorganisaation tehtävät. Tummenukset osoittavat karkeasti tehtävien ajallista painottumista [26].

	K	R	S	U	V	
TS						<b>Hankkeen vaiheet</b>
HS		III	III	III		<b>TS</b> tarveselvitys
RS		III	III	III		<b>HS</b> Hankeselvitys
RA		III	III	III		<b>RS</b> Rakennussuunnittelu
KO						<b>RA</b> Rakentaminen
						<b>KO</b> Käyttöönotto
						<b>Hankkeen osapuolet</b>
						<b>K</b> Käyttäjä
						<b>R</b> Rakennuttaja
						<b>S</b> Suunnittelija
						<b>V</b> Viranomainen

**Kuva 30.** Rakennushankkeen tehtävien kokonaisuus ja sen muodostuminen osapuolitehtävistä ja vaihetehtävistä [26].

Tarveselvitys muodostuu alustavasta rakennusohjelmasta, aikataulusta, kustannus- ja kannattavuusarviosta. Case-kohteessa rakennuksen saneeraus on osa isompaa kokonaisuutta, joka liittyy toiminnoiltaan ja tekniikoiltaan uudisrakennuksien kokonaisuuteen. Tällöin on myös ajankohtaista päivittää olemassa olevien rakennusten yleisilmettä ja tekniikkaa.

Hankesuunnitelma on rakennushankkeen perusteiden, tarpeen sekä niiden edellyttämien toteuttamismahdollisuuksien yksityiskohtaista selvittämistä ja arviointia. Hankesuunnitteluvaiheessa määritellään hankkeen laajuus-, laatu-, kustannus- ja aikataulutavoitteet [26].

Kohteessa kaupallinen suunnittelu ja rakennuksen historialliset arvot ohjaavat rakennuksen korjaustavan laajuuden valintaa. Rakennuksen julkisivuilla on historiallista arvoa ja ne ovat rakennushistoriallisesti suojeltuja. Kohteen kantavan rungon korjausvaihtoehtoisiksi muodostuivat: olemassa olevien kantavien rakenteiden vahvistaminen uusine porashuoneineen tai sisäpuolisen kantavan rungon kokonaisvaltainen uusiminen. Ennen korjaustoimenpiteiden vaihtoehtojen arviointia oli kohteesta tehtävä tarvittavat rakenne- tutkimukset ja rakennusmittaukset. Näitä toimenpiteitä käsitellään tämä tutkimuksen seuraavissa luvuissa.

Rakennussuunnittelu on rakennuskohteen ympäristöön soveltuvan, arkkitehtonisen, toiminnallisen ja teknisen ratkaisun kehittämistä, tarveselvitys ja hankesuunnitelma vaiheissa määriteltujen tavoitteiden ja puitteiden mukaan [26]. Rakennussuunnittelulla on keskeinen merkitys rakennushankkeen onnistumiselle, jolloin pääsuunnittelijan ja suunnitteluryhmän valinnalla on suuri merkitys hankkeen onnistumiselle ja kululle. Rakennussuunnittelu voidaan jakaa ehdotussuunnitteluvaiheeseen, luonnossuunnitteluvaiheeseen ja toteutussuunnitteluvaiheeseen [26]. Ennen suunnitteluvaiheen aloitusta tulee tehdä päätös toteutetaanko suunnittelu perinteisenä 2D-suunnitteluna vai tietomallipohjaisella 3D-suunnittelu tavalla. Aiemmissä vaiheissa päädyttiin koko sisäpuolisen rungon uusimiseen, jolloin säilytettävien julkisivurakenteiden tukeminen ja uusi runko toteutetaan suurimmilta osin esivalmistetuilla rakenneosilla. Tällöin on hyödyllisempää toteuttaa suunnitelmat tietomallipohjaisesti. Tällä tavalla voidaan nopeuttaa suunnitteluprosessia tekemällä valmisosat suoraan tietomalliin, josta saadaan myös kaikki tarvittavat valmisosien listaukset.

Rakentamisvaiheella tarkoitetaan rakennuksen korjaustoimenpiteiden toteuttamista suunnitelmien mukaan. Rakentaminen toteutetaan valitun urakkamuodon mukaan. Kun rakennusurakka on saatu valmiiksi ja kaikki tarvittavat katselmukset ja tarkastukset on suoritettu, voidaan rakennuskohde ottaa hankkeen tilaajan puolesta käyttöön. [26]. Tutkimuksessani ei käsitellä rakentamisvaiheen kulkua eikä tiedonvaihtoa rakennushankkeen aikana.

### 3.3.1 Rakennusmittaukset

Kohteen rakennusmittaukset toteutettiin täkymetrimittauksena rakennuksen rungon osalta vuonna 2008. Vuonna 2015 mittaustekniikka oli kehittynyt vuodesta 2008 ja tuolloin katoksesta tehtävät lisämittaukset toteutettiin laserkeilaamalla.

Mittausten taustalla oli saada selville rakenteiden tarkka sijaintitieto ja rakenteiden mahdolliset vauriot. Mittaustietojen pohjalta saatiin selville julkisivuissa tapahtuneet painumat ja sisäpuolella mahdollisesti tapahtuneet betonipalkkien muodonmuutokset. Nämä tiedot ovat tärkeässä roolissa korjaustoimenpiteiden laajuutta arvioitaessa ja samalla näitä mittauksia voidaan pitää perusteluina rakenteiden korjaustoimenpiteiden laajuudelle.

Mittauksissa korostuu erityisesti niiden oikeellisuus ja mittausten tekijän ammatillinen osaaminen.

Sijaintimittauksessa mittauspaikan koordinaatisto ja korkeusjärjestelmä määritetään kiintopisteiden avulla. Kiintopisteitä käytetään pitkäaikaisesti, jolloin ne pyritään sijoittamaan mahdollisimman näkyvälle paikalle. Kiintopiste tulee asentaa liikkumattomalle alustalle, jolloin kiintopisteet voivat sijaita kalliossa, maaperäkivissä, rakennuksissa, katujen tai teiden rakenteissa. Kiintopisteet voivat olla korkeuspisteitä, tasokiintopisteitä tai yhdistettyjä kiintopisteitä. Korkeuspisteillä pisteen pystysuuntainen koordinaatti tunnetaan, tasopisteillä tunnetaan vaakasuuntaiset koordinaatit ja yhdistetyssä kiintopisteessä tunnetaan korkeus ja vaakasuuntaiset koordinaatit. [16].

### Täkymetrimittaukset

Täkymetrimittauksessa mittauspisteet valittiin riittävän tarkasti jokaisesta geometrian muutoskohdasta. Näitä muutoskohtia voivat olla julkisivuissa ikkuna-aukkojen kulmapisteet tai palkkien vahvennokset. Ammattiosaaminen korostuu siinä, että mittaja pystyy tunnistamaan kaikki tarvittavat kohdat joista tarvitaan mittausdataa.

Täkymetrimittauksessa jokaiselle mitatulle pisteelle annetaan tarvittava pistekohtainen tieto. Tämän tiedon perusteella mitattu piste pystytään tunnistamaan myöhemmässä vaiheessa. Taulukossa 3, riveillä kolme ensimmäistä numeroa kuvaavat mitatun pisteen tunnistetietoa ja kolme viimeisintä numeroa kuvaavat pisteen koordinaatteja. Näiden koordinaattien avulla luodaan CAD pohjaiset piirustukset joiden viivat tai tasot kulkevat oikeassa sijainti- ja korkotasossa.

**Taulukko 3.** Ote täkymetrimittauksen pisteiden mittaustiedosta.

1	1022	205	1031	20727,326	87787,325	91,157
1	1022	205	1032	20725,108	87788,957	91,178
1	1023	206	123	20725,109	87788,974	89,134
1	1023	206	124	20727,326	87787,337	89,122
9	0	201	1	20718,707	87800,344	89,552
9	0	261	3	20717,056	87801,865	88,896
9	0	262	8	20718,992	87800,860	88,932

Kuvassa 31 on esitetty mittapisteiden pohjalta luotu tasopiirustus. Mittapistedata voidaan myös viedä suoraan tietomalliin lähtötietoaineistoksi. Tietomalliin sellaisenaan viety pisteaineisto voi olla kuitenkin vaikeasti tulkittavissa. Lähtötietojen aikaisen selvitystyön johdosta mittausdatasta oli muodostettu CAD pohjaiset piirustukset, joissa kaikki rakennosat ovat oikeilla sijainneilla.



muotoa muodostaen kolmiulotteisen mallin. Tämä malli on helpompi viedä tietomalliin lähtötiedoksi ja näiden tasojen avulla voitiin mallintaa tarvittavat rakenneosat.

### 3.3.2 Rakenneselvitykset ja haitta-aineet

Rakenneselvitykset ovat osa kuntotutkimusta, jolla selvitetään rakenteiden vauriot ja haitta-aineet. Näiden selvitysten avulla valitaan korjaustapa ja tarvittavien purkutoimenpiteiden laajuus. Haitta-aineselvitykset tuleekin tehdä aina rakennuksesta kun on pienikin epäily mahdollisista terveys- tai ympäristöhaitoista. Tutkimus on tehtävä ennen mahdollisten haitta-ainepitoisten materiaalien muutos- ja purkutöitä, että purkujätteet voidaan käsitellä asianmukaisella tavalla. Jollei haitta-aine tutkimusta tehdä on materiaaleja käsiteltävä kuin ne olisivat haitta-ainepitoista. [40].

Rakenteita tutkittaessa tulee tehdä rakenneavauksia, joista voidaan havainnoida ja ottaa tarvittavia näytteitä. Haitta-ainetutkimusta varten on tärkeä kerätä lähtötietoja olemassa olevasta rakennuksesta sekä rakennuksen käyttäjiltä. Lähtötietojen perusteella voidaan paikantaa mahdollisia haitta-aineiden laatua ja olemassaoloa. [27]. Haitallisten aineiden kartoituksessa arvioidaan

- eri haitallisten aineiden määrät ja esiintymisalueet
- haitallisten aineiden aiheuttamaa altistusriskiä ja ympäristövaikutuksia rakennuksen käytön, purku- ja korjaustöiden aikana
- purettavan jätteen jäteluokitus.

Haitta-ainekartoituksen merkitys korostuu eritoten vanhojen teollisuusrakennusten ja muiden erityiskohteiden tapauksissa koska rakenteisiin mahdollisesti imeytyneet epäpuhtaudet voivat vaikuttaa rakennuksen käyttötarkoitukseen ja siten koko hankkeeseen. Haitta-ainekartoitukset ja niihin liittyvien toimenpiteiden suunnittelu edellyttävät laaja-alaista kokemusta haitta-aineista sekä tietoa soveltuvista purku- ja korjausmenetelmistä.

Materiaalien haitta-ainepitoisuuksille annetaan lukuisissa laeissa ja asetuksissa ohjeet tai määräykset haitta-ainepitoisuuksien raja-arvoille, joita ei saa ylittää. Näissä määräyksissä annetaan ohjeellisia raja-arvoja kuinka paljon materiaalit saavat tuottaa ilmaan haitallisia yhdisteitä. Raja-arvon ylittävälle materiaaleille on löydettävä keino jolla estetään niiden negatiiviset terveys- ja ympäristövaikutukset. Purettaessa raja-arvon ylittäviä materiaaleja on niiden purkutyöhön ja jätteenkäsittelyyn kiinnitettävä erityistä huomiota, sillä jätelainsäädäntö on uudistanut jätteenkäsittelypisteiden ympäristölupia siihen suuntaan, että haitallisten aineiden käsittely on entistä kalliimpaa ja vaikeampaa hävittää. [40].

Aiempina vuosina on käytetty terveydelle tai ympäristölle haitallisia materiaaleja, joiden on silloin uskottu olevan turvallisia käyttää. Näitä aineita on yleensä lisätty materiaaleihin parantamaan niiden ominaisuuksia. Useat haitta-aineet eivät kuitenkaan ole terveydelle haitallisia rakennusmateriaaliin sitoutuneena.

Haitta-ainetutkimuksista laaditaan kirjallinen raportti aistivaraisten havaintojen ja kohteesta otettujen ja analysoitujen näytteiden tulosten perusteella. Raportin avulla on voitava arvioida rakenteisiin jäävien mahdollisten haitta-aineiden vaikutusta rakennuksen käyttöön ja sisäilman laatuun. Raportissa tuleekin tuoda selkeästi esille ne haitallisia aineita sisältävät materiaalit joista voi olla vaaraa rakennuksen ympäristölle. [27].

### **Yleisimmät haitta-ainekartoitukset**

Asbesti on yleisnimitys monille kuitumaisille silikaattimineraaleille. Nämä mineraalit voidaan jakaa kahteen alaluokkaan, amfiboleihin ja serpentiineihin. Asbestipölyn joutuminen elimistöön lisää riskiä sairastua asbestoosiin, keuhkosityöpään ja muihin keuhkosairauksiin ja –muutoksiin. Asbestin käyttö aloitettiin Suomessa 30-luvulla ja sen käyttö alkoi vähentyä 70-luvun lopulla terveyshaittojen ilmaantuessa. Myynti ja käyttöönottoaminen kiellettiin 1994. Asbesti ei kuitenkaan aiheuta vaaraa materiaaleihin sitoutuneena vaan purettaessa ja työstettäessä asbestipitoisten materiaalien asbestikuituja vapautuu ilmaan aiheuttaen terveydelle vaaraa [15].

PAH-yhdisteet eli polysykliset aromaattiset hiilivedyt muodostuvat kahdesta tai useammasta fuusioituneesta bentseenirenkaasta. Yhdisteet muodostuvat epätäydellisestä palamisreaktiosta. Osa PAH-yhdisteistä luokitellaan mutageeneiksi ja karsinogeeneiksi, jolloin ne voivat altistaa perimämuutoksille ja syöville. PAH-yhdistepitoisia materiaaleja käytettiin yleisimmin kattahuovissa, vedeneristeissä ja valuasfalteissa 1800-luvulta 1990-luvun alkuun saakka [15].

Öljihiilivedyt ovat usein peräisin öljyvahingosta. Öljyhiilivetyjä on voinut imeytyä rakenteisiin myös maaperästä tai aiemmin käytetyistä rakennusmateriaaleista. Huokoiset rakennusmateriaalit voivat imeä suuriakin määriä öljyä ja muita haitta-aineita [15].

Radon on radioaktiivinen kaasu, jota muodostuu maaperässä. Radon onkin näkymätön ja hajuton jalokaasu, joka lisää riskiä sairastua keuhkosityöpään [15].

Raskasmetalleja on käytetty eri maaleissa korroosionestoaineena ja väripigmentteinä. Maalien raskasmetallien analyseissa tulee vähintään selvittää seuraavat pitoisuudet:

- arseeni
- kadmium
- koboltti
- kromi
- kupari
- nikkeli
- lyijy
- vanadiini
- sinkki



- antimoni
- elohopea.

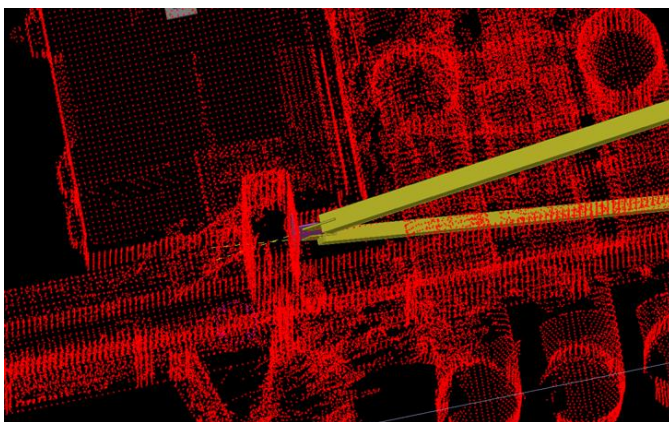
Oleellisena osana kuntotutkimusta on myös silmämääräiset havainnot, joiden pohjalta voidaan arvioida vaurioituneiden rakenteiden laajuutta ja vaurioitumisastetta. Silmämääräiset havainnot täydentävät ja tukevat rakenneavausten ja laboratoriotutkimusten tuloksia rakenteiden kuntoa selvitettäessä.

### 3.4 Lähtötietomalli

Lähtötietomalli on suunnittelutyön pohja, minkä takia siihen tulee kiinnittää suurta huomiota. Lähtötietomallin muodostamisesta suuren osan ajasta vie lähtötietojen hankkiminen ja niiden oikeaoppinen tulkinta. On hyvä tiedostaa, että lähtötietomallin tekeminen on haastavaa, sillä lähtötietomallia laadittaessa on jatkuvasti pohdittava kuinka tarkasti kukin rakenneosajoudutaan mallintamaan. Lähtötietomallin tekijän tulee ymmärtää mihin mallia käytetään ja mitkä ovat sen keskeisimpiä asioita.

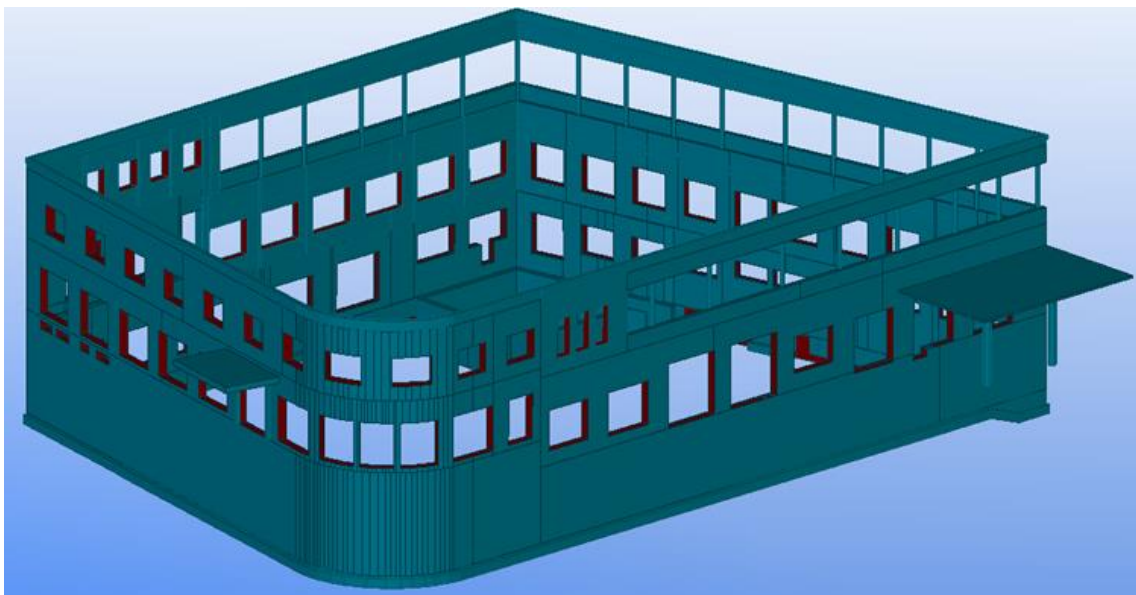
Olemassa olevasta rakennuksesta ei läheskään aina saada kaikkien rakenneosien sijaintitietoja selville ilman purkutöiden toteutusta. Näitä rakenneosia voivat olla anturat, holvien palkit tai holvien ja seinien liittyvät rakenteet, jotka jäävät alakattojen taakse piiloon. Näiden epävarmuustekijöiden mallintaminen on ongelmallista, koska ei ole sovittu yhteistä linjaa tarkkojen ja arvioitujen rakenneosien esitystavan välillä. Tämä korostuu etenkin uusien liittyvien rakenteiden sijaintitarkkuuksissa.

Lähtötietomallina voidaan pitää esimerkiksi pistepilvidataa, jos sitä voidaan pitää kokonaisuuden kannalta riittävänä, jolloin varsinaiset korjaussuunnitelmat voidaan toteuttaa tämän tiedon pohjalta. Havainnollisuuden vuoksi on kuitenkin parempi vaihtoehto mallintaa olemassa olevat rakenteet, joihin uudet rakenneosat liittyvät. Kuvassa 32 on havainnollistava kuva liitoksesta, jossa käytetään pistepilvimallia lähtötietona.



**Kuva 32.** Pistepilviaineisto lähtötietona teräsrakenteen ja olemassa olevan rakenteen väliselle liitokselle (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).

Kohteen mittauksen perusteella luotiin lähtötietomalli. Lähtötietomallin luonti voidaan toteuttaa useammalla eri tavalla, kuten esimerkiksi pistepilviaineistosta tai muusta tuotetusta mittausaineistosta. Case-kohteessa lähtötietomalli luotiin CAD-pohjaisten tarkempiirustusten pohjalta. Mallintaminen aloitettiin tuomalla Tekla Structures -malliin tarkempiirustukset referenssitietona. Referenssiirustukset tuotiin jokaiselle kerrokselle erikseen ja ne sijoitettiin absoluuttisille +koroille. Näiden tiedostojen pohjalta luotiin rakennuksen rungon lähtötietomalli. Suunnittelun ja tutkimusten edetessä oli välttämätöntä, että myös etuosan katos on purettava ja tehtävä uudelleen vastaavan näköisenä. Mittausteknologian kehittyessä katoksen mittausdata voitiin saada pistepilviaineistona. Pistepilvimallia oli sellaisenaan epäselvä käyttää lähtötietona ja pistepilvimalli oli hyvä muokata ensin toisella ohjelmalla helpompi lukuisemmaksi kolmioverkkopintamalliksi. Kuvassa 33 esitetään kohteen lähtötietomalli, johon on mallinnettu kaikki säilytettävät rakenneosat.



**Kuva 33.** Case-kohteen lähtötietomalli (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).

### 3.5 Olemassa olevien rakenteiden materiaalitiedot ja detaljoinnit

Olemassa olevat rakenteet mallinnettiin omille *objekti* tasoille eli class tasoille. Esimerkiksi seinärakenteet ovat ennalta määrätyillä class-numeroilla materiaalin ja valmistustavan mukaisesti. Yleisissä tietomallivaatimuksissa ei ole määriteltä ohjetta olemassa olevien rakenteiden luokitukselle, joten se on valittava tapauskohtaisesti. Olemassa oleville rakenteille valitut class-numerot eivät saa kuitenkaan olla käytössä uusilla rakenteilla.



Olemassa olevien rakenteiden materiaalitiedoista ja liittymistä toisiin olemassa oleviin rakenteisiin oli mahdollista saada tarkka rakenteellinen tieto ainoastaan rakenneavauksien

avulla, mikä ei ollut taloudellisesti järkevää jokaisesta tarvittavasta kohdasta. Tästä joh-  
tuen olemassa olevat rakenteet mallinnettiin geometrialtaan ja rakennusmateriaalin osalta  
oikein ja osa geometria tiedoista jouduttiin arvioimaan vanhojen suunnitelmien pohjalta.  
Vanhojen rakenteiden sisäisiä rakenneosia ei esitetä tietomalliin, elleivät ne ole oleelli-  
sessa roolissa uusien rakenteiden liittymiseen olemassa olevaan rakenteeseen.

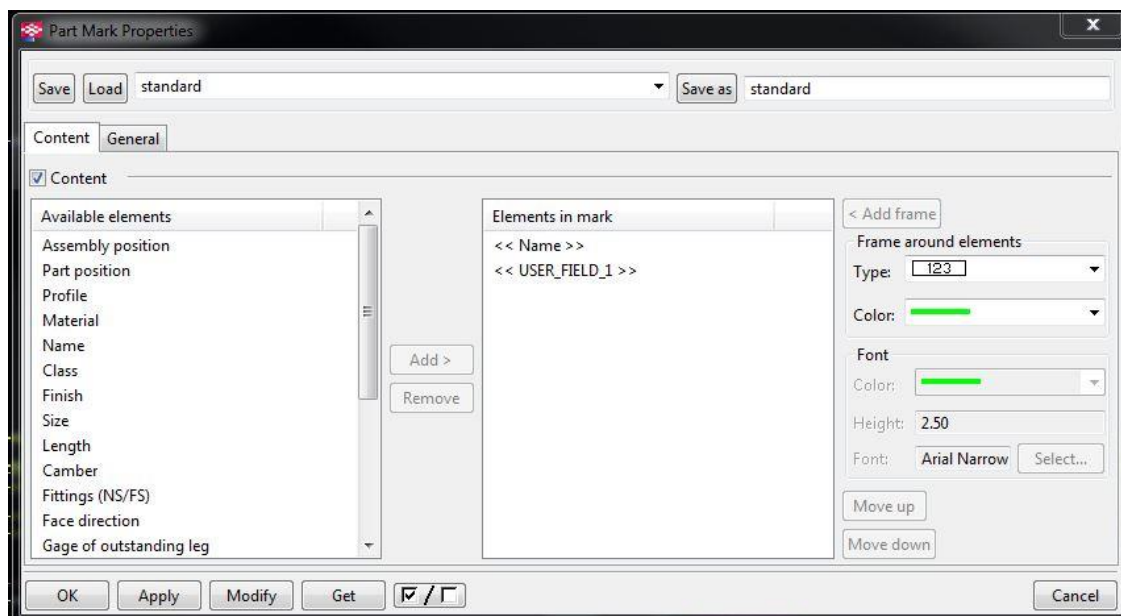
Olemassa olevien rakenteiden liittymiä toisiinsa ei ole hyödyllistä mallintaa. Case-koh-  
teessa liitokset toteutettiin liittämällä rakenneosat pintaliitoksilla toisiinsa, jolloin ainoas-  
taan kappaleiden pinnat olivat yhteydessä toisiinsa. Materiaalitiedot annettiin name-kent-  
tään karkealla tasolla, kuten ”vanha tiiliseinä”.

Osien materiaalitiedot voidaan tarvittaessa esittää tarkemmin tietomalliin. Tiedot kirja-  
taan osan user-defined attributes –valikkoon (kuva 34) . Syötetty tieto ei välity automaat-  
tisesti piirustuksiin vaan se on haettava osan tiedoista (kuva 35). Suunnittelijan tulee  
tarkasti tietää mitä tietoja on antanut osalle ja mihin paikkaan tiedot on syötetty.

Asennus	FI-Yleistiedot	FI-Teräs	FI-Betoni	FI-Kuormitus	FI-Piirustusasetukset	General Design
AI_Suunnittelu	AI_Steel	Parameters	End Conditions	Analysis	IFC export	Suunnittelu
						Valmistus
Comment	<input checked="" type="checkbox"/>					
Shorten	<input checked="" type="checkbox"/>					
Camber	<input checked="" type="checkbox"/>					
Preliminary mark	<input checked="" type="checkbox"/>					
Preliminary assembly mark	<input checked="" type="checkbox"/>					
Locked	<input checked="" type="checkbox"/>					
Fabricator name	<input checked="" type="checkbox"/>					
User field 1	<input checked="" type="checkbox"/>					
User field 2	<input checked="" type="checkbox"/>					
User field 3	<input checked="" type="checkbox"/>					
User field 4	<input checked="" type="checkbox"/>					
User Phase (affects numbering)	<input checked="" type="checkbox"/>					
Fixed drawing main view	<input checked="" type="checkbox"/>					
Tocoman object type	<input checked="" type="checkbox"/>	Unclassified				
Product code	<input checked="" type="checkbox"/>					
Product description	<input checked="" type="checkbox"/>					
Product website	<input checked="" type="checkbox"/>					
Product weight	<input checked="" type="checkbox"/>					
Product unit	<input checked="" type="checkbox"/>					
Initial GUID	<input checked="" type="checkbox"/>					
Toteutusluokka	<input checked="" type="checkbox"/>					

OK Apply Modify Get   Cancel

**Kuva 34.** Objektin user-defined attributes –valikko (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).



*Kuva 35. Objektin part mark –valikko (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).*

### 3.6 Suunnittelu

Korjausrakennesuunnittelu on keskeinen osa-alue korjauskohteen rakennussuunnittelua. Suunnitteluun voi sisältyä sekä uudisrakenteiden ja korjaustoimenpiteiden rakennesuunnittelua. Suunnitelmissa esitetään sekä runkojärjestelmien että -materiaalien valinnat. Myös lujuslaskenta on oleellinen osa rakennesuunnittelua. Olemassa olevien rakenteiden lujuslaskelma osoittautuu yleensä haastavaksi, sillä vanhoista rakenteista ei ole aina saatavilla rakennetietoja tai tietoja rakennuksen käytön aikana tehdyistä muutostoimenpiteistä, jotka voivat vaikuttaa rakenteiden kantavuuteen ja kokonaisstabilitettiin.

Valtioneuvoston asetuksessa [41]: ”Rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokien määrittäminen” annetaan suunnittelijoille vaatimukset suunniteltavan kohteen kokuokan mukaan. Vaatimukset on annettu erikseen uudis- ja korjaussuunnittelulle. Suunnittelijoiden henkilöpatvyyksiä toteaa FISE Oy.

FISE Oy:n on henkilöpatvyyksiä toteava ja henkilöpatvyyksiin keskittyvä yritys. Yritys keskittyy rakennus-, LVI ja kiinteistöalan toimijoihin. Patvyyssrekisterin lisäksi FISE ylläpitää rakennusvirhepankkia, jonka tavoitteen on edistää hyvän rakennustavan mukaisia rakennus- ja korjaustapoja. FISE:n tavoitteena on myös jakaa tietoa riskejä sisältävistä ja virheellisistä rakenneratkaisuista.

### 3.7 Korjausmenetelmien valinta

Korjausmenetelmien valintaan vaikuttavat mm. olemassa olevien rakenteiden kunto ja turmeltumisaste, mahdolliset haitta-aineet sekä rakennuksen omistajan tilatarpeet. Toimenpiteiden laajuuteen vaikuttavat myös rakennuksen historialliset arvot, jotka tulee säilyttää rakennusperintöä vaalien.

Menetelmiä valittaessa tulee myös huomioida viranomaisten antamat rakennusmääräykset. Korjaustoimenpiteen laajuudesta ja vaihtoehdoista riippuen korjaamisen yhteydessä ei ole kuitenkaan välttämätön noudattaa uusimpia rakennusmääräyksiä, vaan voidaan myös soveltaa määräyksiä, jotka olivat voimassa rakennuksen rakentamisajankohtana. Rakennusteknisesti on usein turvallisempaa noudattaa valmistusajankohdan rakennusmääräyksiä, koska eri aikakausien rakennustekniset ratkaisut poikkeavat usein huomattavasti toisistaan. Valmistusajankohdan rakennusmääräyksiä on tarkasteltava aina tapauskohtaisesti, sillä rakenteiden toimivuus ja käyttöikä voi olla lähellä tiensä päätä tai rakenteiden rasitukset ovat muuttuneet rakennuksen elinkaaren aikana. Määräyksiä määriteltäessä tulee myös huomioida ympäristössä tapahtuneet ja rakennuksen tulevan elinkaaren aikana tapahtuvat ilmastomuutokset.

Tutkimuksista havaittiin, että rakennus sisältää erinäisiltä osin haitta-aineita, jolloin niiden poistaminen tulee ympäristön ja terveyden kannalta välttämättömäksi. Näiden havaintojen pohjalta ja kustannusvaikutuksia vertaamalla korjaustavaksi valittiin sisäpuolisen rungon kokonaan purkaminen niin, että ulkoseinät säilytetään. Myös ulkoseinärakenteita jouduttiin purkamaan kellarin maanpaineisiin osalta. Näistä seinistä poistettiin sisäpuolinen tiiliverhous ja verhouksen takana sijaitseva kumibitumisively.

### 3.8 Uusien rakenteiden sovittamien tietomalliin

Uusia rakenteita sovitettaessa vanhoihin rakenteisiin tulee tiedostaa olemassa olevien rakenteiden sijaintipoikkeamat suunniteltuun nähden. Näihin sijaintipoikkeamiin voi vaikuttaa useat eri tapaukset. Näitä tapauksia voi olla

- rakennusaikaiset asennustoleranssit
- uusien rakenteiden asennustoleranssit
- rakennuksen suunnitelmista poikkeavat ratkaisut
- elinkaaren aikana tehty korjaus- ja muutostoimenpiteet
- rakennuksen vauriosta tai painumista aiheutuneet muutokset.

Uusien rakenteiden kiinnittämistä vanhoihin olemassa oleviin rakenteisiin tulee harkita aina tapauskohtaisesti. Olemassa olevasta rakennuksesta on tiedettävä rakennuksen perustamistapa, liikuntasaumat sekä rakenteiden vauriot ja materiaalitiedot. Uusia rakenteita kiinnitettäessä olemassa oleviin rakenteisiin voidaan tahattomasti vahingoittaa uusia ja olemassa olevia rakenteita. Tästä voidaan pitää esimerkkinä sitä, että vanha rakennus

on asettunut lopulliseen sijaintiinsa kun taas uusilla rakenteilla voi tapahtua pieniä muodonmuutoksia. Ei voida myöskään aina olettaa, että jos rakenne on toteutettu betonirakenteisena, että siihen kiinnittyvät uusien rakenteiden liitokset voitaisiin suunnitella, olettaen olemassa olevalle rakenteelle uuden betonirakenteen ominaisuudet.

Uusien rakenteiden sijaintitietojen määrittämiseksi on tiedettävä tarkalleen olemassa olevien rakenteiden sijainti. Korjausrakennuskohteessa ei voida useinkaan saada joka kohdasta riittävän tarkkoja sijaintitietoja. Näitä ongelmapaikkoja ovat esimerkiksi kotelomallisten holvien liittyminen ulkoseinärakenteisiin ja anturat.

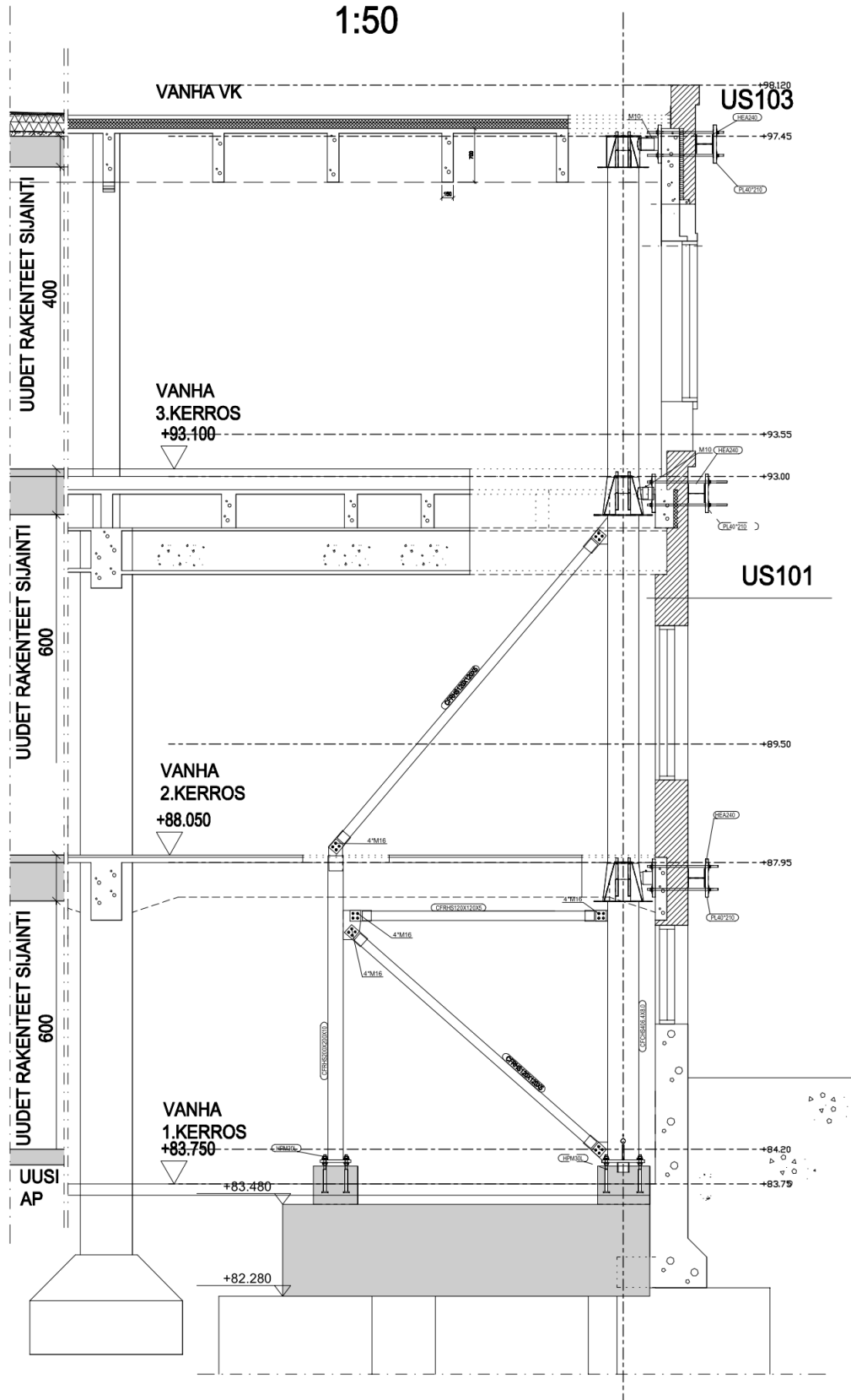
Vanhojen rakenteiden tarkemmittauksien ja lähtötietomallin tarkkuustason perusteella voidaan pitää 25 mm sijaintipoikkeamaan riittävänä näkyvien rakenneosien osalta. Piilossa sijaitsevien rakenneosien sijaintiepävarmuuksista johtuen uusien ja olemassa olevien rakenteiden väliin sovitettiin suurempi mittatoleranssi. Mittatoleranssin määrittämiselle ei ole teoreettista taustaa vaan se perustuu suunnittelijoiden kokemukseen ja vanhojen suunnitelmien pohjalta tehtyihin arvioihin rakenneosista, joita ei voitu saada selville rakeneavauksillakaan. Nämä osat ovat olemassa olevien purettavien rakenteiden takana sijaitsevia rakenneosia.

Sijaintiepävarmuuksien vaikutukset korostuivat etenkin ulkoseinien työnaikaisia tukirakenteita suunniteltaessa, jolloin purkutyöaikaisten tuentojen suunnittelu osoittautui haasteelliseksi. Lisähaasteen julkisivun tuentaan toi se, että tuenta oli toteutettava sisäpuolisena vaihtoehtona, jolloin tukirakenteet oli sovitettava olemassa olevien sekä uusien rakenteiden joukkoon. Uudet julkisivun tuentarakenteet toteutettiin teräsrakenteisina ristikkoina, joista osa jää pysyväksi rakenteeksi osana uutta sisäpuolista kantavaa runkoa.

Koska ulkoseinien tarkkaa sijaintitietoa holvien kohdalta ei voitu tarkasti määritellä ennen holvien purkua ja samaan aikaan tuenta tuli kuitenkin olla tehtynä ennen varsinaisia purkutöitä, jouduttiin tukirakenteiden liitokset toteuttamaan liukuvana. Kuvissa 36 ja 37 esitetään julkisivujen tuentarakenteen periaatteet. Tuentasuunnitelma on toteutettu ottamalla mallista perusleikkaukset, joita on täydennetty CAD-ohjelmiston avulla.

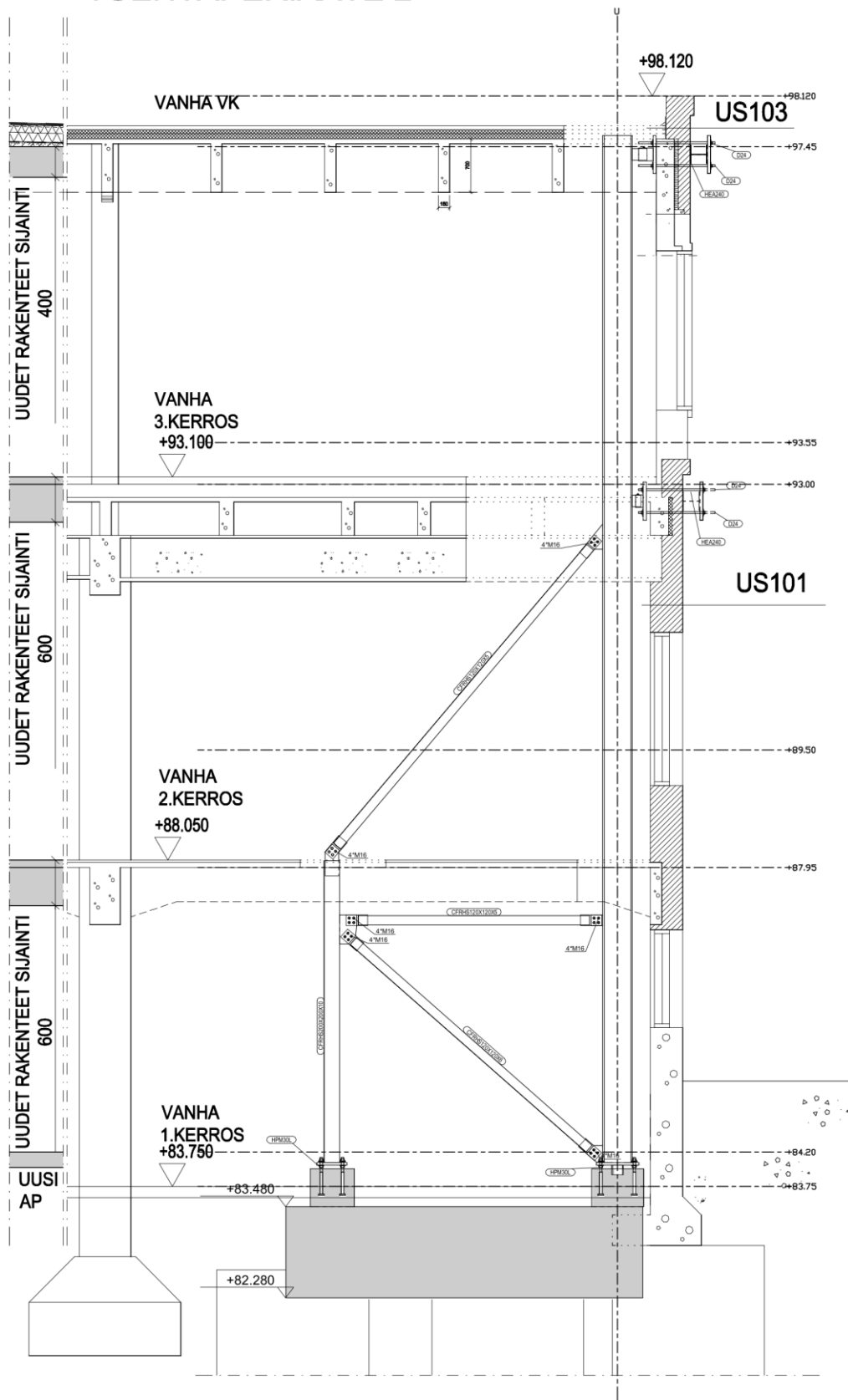
# TUENTAPERIAATE 1

## 1:50



Kuva 36. Julkisivun tuentaperiaate 1 (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).

## TUENTAPERIAATE 2



**Kuva 37.** Julkisivun tuentaperiaate 2 (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).



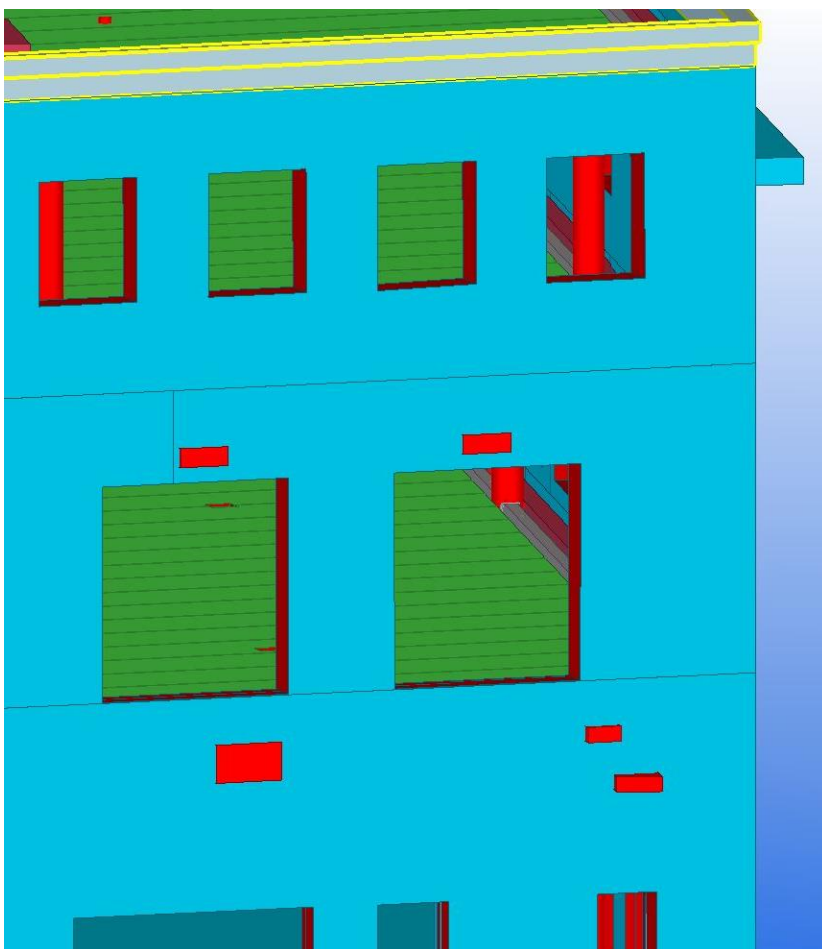
### 3.8.1 Reikä ja varaustiedot

Korjausrakennuskohteen reikä- ja varaussuunnitelmien laatiminen on suunnittelutavasta riippuen lähestulkoon aina haastavaa. Case-kohteessa reikävaraustiedot toteutettiin tietomallivaatimusten osan 5 ”rakennesuunnittelu” kohdan 5.4.2 Reikäpiirustusten tekoprosessin vaihtoehdon kolme mukaisesti.

Reikäkiertoa varten TATE-suunnittelijoilla oli käytössä rakennemalli. Rakennemallista suunnittelijat pystyivät helposti selvittämään vanhojen ja uusien rakenteiden sijainnit kun CAD-pohjaisessa suunnitteluprosessissa osa vanhojen rakenteiden sijaintitiedoista olisi arvioitava taso- ja leikkauspiirustusten avulla. TATE-suunnittelijat voivat paikantaa mallista rakenteet ja siirtää varauskoloja jo tässä vaiheessa toiseen paikkaan rakennesuunnittelijan alustavien ohjeiden mukaisesti. TATE-suunnittelijoiden tietomallipohjaiset varaussuunnitelmat saapuvat rakennesuunnittelijalle, joka tarkastaa reikien vaikutukset rakenteiden kantavuuteen ja siirittää niitä tarvittaessa turvallisempaan paikkaan. Samalla reikien siirtäminen voidaan toteuttaa ennen varsinaista reikien CAD-suunnitelmien kierrätystä.

Tietomallipohjaisesta reikäkierrästä on myös etua rakennesuunnittelijalle sillä tietomallista on huomattavasti helpompi tarkastaa reikävarausten sijainnit olemassa oleviin ja uusiin rakenteisiin nähden. Kuvassa 38 reikävaraukset on lisätty rakennetietomalliin tarkastusta varten. Kuvan varaukset näkyvät vielä tässä vaiheessa punaisina objekteina. Kun kaikki varaukset on saatu paikoilleensa, voidaan objektit muuttaa rei’iksi. CAD-pohjaisessa suunnittelussa, kuvan 38 seinärakenteesta olisi joutunut piirtämään oman kuvan havainnollistamaan reikävaraustietojen tarkkoja sijaintipaikkoja.

Tietomallipohjaiseen reikä- ja varaussuunnitelmien kierrättämiseen ei aina ole rakennesuunnittelijalla omaa tietomallia. Esimerkkinä voidaan pitää pienet putkistosaneeraukset, joihin ei tarvita rakennesuunnitelmia muuta kuin kantaviin rakenteisiin tulevien uusien reikien osalta. Tällöin tulee tapauskohtaisesti harkita millä tavoin varaussuunnitelmien laatiminen kannattaa toteuttaa.

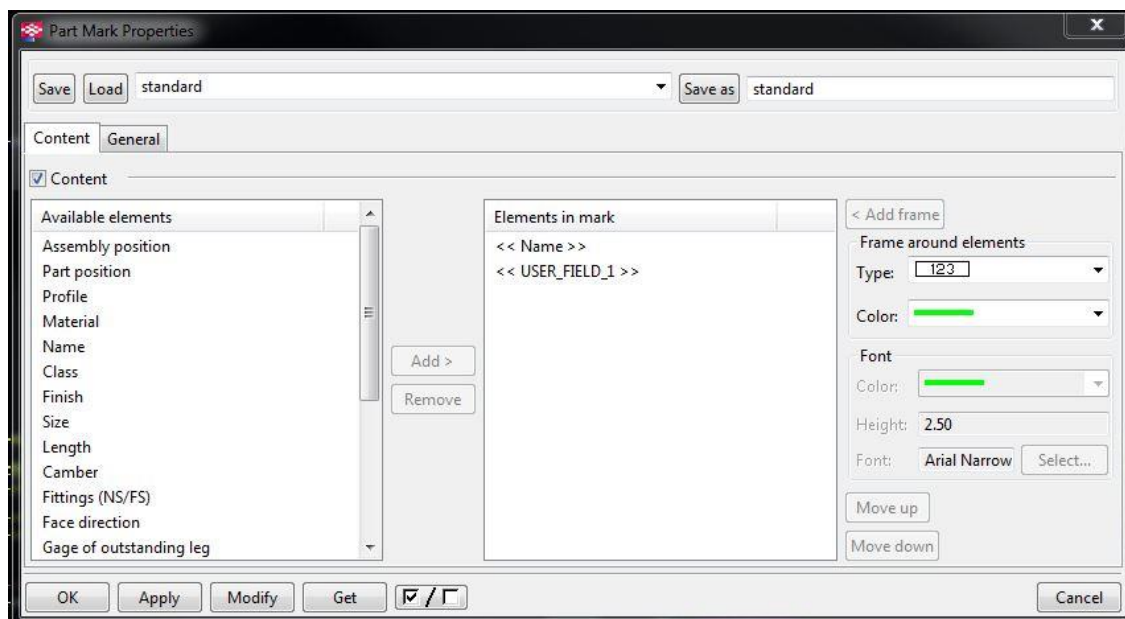


**Kuva 38.** Reikävarauksien havainnollistava kuva, jossa reikävaraukset ovat merkitty punaisella värillä (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).

### 3.8.2 Suunnitelmien tuottaminen tietomallista

Vaikka korjaussuunnittelu toteutettiin tietomallintamalla, oli korjaustoimenpiteistä laadittava paperipohjaiset suunnitelmapiirustukset. Suunnitelmapiirustuksista tasokuvat tuotettiin Tekla Structures -ohjelman piirustusten tuottamiseen tarkoitetulla työkalulla.

Tasopiirustusten luonti tapahtuu luomalla mallinpuolelta näkymiä piirustustilaan. Piirustustilassa on valmiiksi luotuja asetuksia, joilla voidaan nopeuttaa suunnitteluprosessia. Piirustustilan näkymästä voidaan luoda edelleen leikkauksia ja tarvittaessa yksityiskohteisempia detaljeja. Piirustustilassa mallista joudutaan alkuasetuksien lisäksi suodattamaan näkymiä varten tarvittavia tietoja. Näiden perusteella kyseisessä näkymässä halutut tiedot voidaan saada näkyviin, piilotettua tai jaoteltua karkeasti eri viivatyyleille. Samalla näkymien objekteille annetut ominaisuustiedot voidaan tuoda esille. Kuvassa 39 esitetään valittavat objektin tiedot, joita tietomallissa voidaan esittää. Piirustustilassa luodaan myös tarvittavat mitoitus- ja tekstiviittaukset ja viitenuolet, jotka eivät linkity mallinpuolelle.



**Kuva 39.** Piirustuspuolen objektien tietokentän valinta (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).

Case-kohteessa toteutettiin tasokuvien suunnitelmat suoraan tietomallista, joihin lisättiin CAD-pohjaisia detaljipiirustuksia selkeyttämään suunnitelmia. Leikkauspiirustukset toteutettiin tietomallista ja niitä täydennettiin CAD-pohjaisella ohjelmistolla lopulliseen muotoon.

Olemassa olevien rakenteiden esittäminen osoittautui haasteelliseksi. Olemassa oleville rakenteille on annettu 2D-suunnitelmia laadittaessa ohjeet niiden esitystavasta. Esimerkiksi olemassa olevien rakenteiden ääriviivan paksuutena käytetään kahta eri viivan paksuutta ja niille on määritetty omat rasterinsa. Näin voidaan suoraan piirustuksista erottaa olemassa olevat ja uudet rakenteet toisistaan. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa ei kuitenkaan ole annettu samanlaisia ohjeita. Case-kohteessa vanhoille rakenteille piirrettiin manuaalisesti piirustustilassa tarvittavat paksummat viivat ja lisättiin objekteille rasterit. Näin tietomallipohjaisesti tuotettujen paperisuunnitelmien ja CAD-pohjaisten suunnitelmien välille ei tullut suurta eroa.

Suunnitelmapiirustuksissa voitiin esittää uusien betonirakenteiden raudoitukset, jos ne olivat mallinnettu mallin puolella oikean kokoisina ja oikeille sijainneille. Raudoituksia varten tarvittavat raportit oli mahdollista luoda suoraan mallinnetun tiedon perusteella.

## 4. TULOKSET JA HAVAINNOT

Tässä luvussa käydään läpi tutkimuksen tuloksia ja havaintoja, joita saatiin tutkimusta tehdessä. Luku koostuu tietomallin hyödyntämisestä korjausrakentamisesta sekä tietomallintamisesta korjausrakentamisessa.

### 4.1 Tietomallin hyödyntäminen korjausrakentamisessa

Tietomallintaminen voi olla parhaimmillaan merkittävä edistysaskel korjausrakennushankkeen toteutukselle. Väärin ymmärrettynä tietomallintaminen voi kuitenkin olla ylimääräinen rasite jo muutoinkin tiukassa suunnitteluaiakataulussa ja pahimmillaan voi käydä niin, että mallinnetaan vain kun sitä vaaditaan. Tulee kuitenkin huomioida tietomallin tarpeellisuus kohteissa, joihin riittää tasopiirustus laajuustietoja varten ja paljon erilaisia detaljeja. Näissä tapauksissa korostuu kysymykset:

- Jos mallinnetaan niin rajataanko tietomalli ainoastaan rakennuksen osaan johon korjaustoimenpiteet kohdistetaan?
- Onko alkuperäiset suunnitelmat toteutettu käsin piirtämällä, CAD-pohjaisesti vaiko tietomallipohjaisesti?
- Kantavien rakenneosien sijainti- ja kuntotiedot rakenneosilla, jotka ovat osa korjattavaa kokonaisuutta, joihin ei kuitenkaan kohdistu korjaustoimenpiteitä.

On tärkeätä myös tiedostaa, että järjestelmien ja tietokoneohjelmistojen ei tule ohjata suunnittelua, vaan niiden on oltava joustavia ja taivuttava mitä erilaisimpiin suunnitteluratkaisuihin. Tietomalliperusteinen suunnittelu ei tarkoita valmiiden palikoiden kokoamista vaan tuoteosien on sisällettävä tuote- ja rakennusosien tiedot.

Rakennesuunnittelun osalta tietomallinnuksen ja perinteisen CAD-suunnittelun osalta voidaan pitää hyvänä vertauskuvana kehitysaskelta, jolloin suunnittelu oli siirtymässä käsin piirtämisestä CAD pohjaiseen suunnitteluun. Jotta CAD pohjaisesta suunnittelusta voitaisiin kokonaan luopua, tulisi asenteiden ja tietomallinnus ohjelmistojen vielä ottaa kehitysaskelaita eteenpäin. CAD pohjaista suunnittelua tullaan vielä tarvitsemaan esimerkiksi rakennetyyppien ja yksittäisten detaljien tuottamiseen, mikä ei vielä ole mahdollista tietomalliohjelmistojen avulla.

Parhaimmillaan tietomalli sisältää arkkitehti-, lvi-, rakenne-, ja sähkösuunnitelmat yhdessä 3D-tietomallissa. Tämänlaista tietomallia kutsutaan *yhdistelmämalliksi*. Kaiken tiedon ollessa yhdessä tietomallissa on korjaushankkeen suunnitelmien keskinäinen yhteensovittaminen huomattavasti helpompaa kuin tavallisesti 2D-suunnittelulla toteutetussa hankkeessa. Tämä edellyttää kaikkien osapuolten välistä yhteistyötä, johon liittyy vielä yleisesti pienehköjä ongelmia.

Tietomallipohjaisesta suunnittelusta on hyötyä rakennesuunnittelussa. Sellaista tietoa, joka voidaan esittää helpommin jollain toisella tavalla, ei ole kuitenkaan välttämätöntä mallintaa. Mallinnus tarjoaa rakennesuunnittelulle suurimman hyödyn silloin, kun korjausrakentamiseen liittyy myös olemassa oleviin rakenteisiin liittyviä uusia rakenneosia. On kuitenkin syytä ymmärtää ettei tietomallintaminen koske pelkästään rakennesuunnittelua vaan kaikkia eri suunnittelualoja tukien kiinteistön rakentamista ja ylläpitoa aina sen elinkaaren loppuun asti.

Kun vanhat rakenteet ovat mallinnettu rakennemalliin varaustietoineen, voidaan myös uudet reikä- ja varaussuunnitelmat toteuttaa tietomallipohjaisesti. Luvussa 2.2.8 ”Reikä- ja varaussuunnittelu” käsitellään tietomallipohjaisen reikä- ja varaussuunnitelmien laatimisen eri vaihtoehtoja. Valittaessa reikä- ja varaussuunnitelmien toteutustapaa eri toteutustapojen väliltä, on tiedostettava, että varausten merkkauksilla on suuria eroja. Tavasta riippuen suunnitelmien laatiminen voi aiheuttaa rakennesuunnittelijalle huomattavasti enemmän työtä ja työmäärän lisääntymisestä aiheutuvia lisäkustannuksia. Reikä- ja varaussuunnitelmia laadittaessa tulee selvittää tarkemmin varaustietojen vastuukysymykset. Esimerkiksi, kenen vastuulla suunnitelmiin merkattu varaus on, jos TATE-suunnittelija merkkaa varaustiedon objektina reikä- ja varaussuunnitelmiin, jonka rakennesuunnittelija mitoittaa. Tällä tavalla rakennesuunnittelijalle tulee huomattava määrä lisätehtävää CAD-pohjaiseen reikä- ja varaussuunnitelmien laatimiseen verrattuna.

Rakenteiden mallintaminen voi olla ongelmallista, jos ei tiedetä yhtään minkälaisia rakenteita olemassa oleva rakennus pitää sisällään. Tällainen tilanne voi tulla vastaan silloin, kun kyseessä on vanha rakennus, jota on korjattu ja laajennettu eri vuosikymmeninä jokaisen oman korjausajankohdan rakennustavan mukaisesti. Kaikista muutoksista ei myöskään välttämättä ole olemassa suunnitelmia. Tällöin rakenneavauksia olisi tehtävä suurimmilta osin koko rakennusta, mikä voi olla mahdotonta toteuttaa nykyisten tilojen käytön vuoksi. Kun rakenteita avataan työnaikana, joudutaan mallia ja suunnitelmia päivittämään koko rakentamisen ajan, jolloin mallintamisesta käytettävä työmäärä voi nousta suureksi.

#### **4.1.1 Saatavat hyödyt ja haitat**

Tietomallipohjaisesta suunnittelusta on hyötyä korjausrakentamisessa. Alla on lueteltu tietomallintamisesta saatavia hyötyjä eri hankevaiheissa.

Hankesuunnitteluvaiheessa saatavat hyödyt:

- kannattavuuden arviointi
- rakennuksen toiminnallisuuden arviointi
- ekologisuuden ja energiatehokkuuden arviointi.

Suunnitteluvaiheessa saatavat hyödyt:

- energia-analyysien teko
- suunnitteluratkaisujen simulaatiot
- havainnollisuus
- yhteistyön parantuminen
- suunnitelmien laadun parantuminen
- törmäystarkastelut
- määrätiedot

Rakentamisvaiheessa saatavat hyödyt:

- määrätiedot
- aikataulusuunnittelu
- työmaasuunnittelu

Tietomallipohjaisen suunnittelun käytön ongelmaksi peruskorjauskohteessa muodostuu usein uudisrakentamista vastaavien rakenneosien vähyys, jolloin tietomallintaminen tulee työläämmäksi vaihtoehdoksi. Isossakin perusparannuskohteessa saattaa olla todella vähän uudisrakentamista. On myös huomioitava tietomallintamisen laajuus, jos pieniä korjaustoimenpiteitä on hajallaan eri puolilla rakennuskohdetta tai ne keskittyvät pieneen osaan rakennusta.

Tulee muistaa, että tietomallintaminen sisältää vielä paljon haasteita kuten

- lähtötietojen saaminen varhaisemmassa vaiheessa
- ohjelmistojen ja koneiden toimintaongelmat
- suunnitelmien ja mallin laatuvaatimukset
- hankkeiden kireät aikataulut, jolloin opetteluun ei ole aikaa
- mallintamisen aiheuttama ylimääräinen työ
- yhteistyön ongelmat
- osaamisen puute ja asenneongelmat
- juridiset kysymykset, kuten kuka omistaa mallin
- tiedon syöttämisen hankaluus
- vastuukysymykset tietomallin tietojen osalta.

## 4.2 Tietomallintaminen korjausrakentamisessa

Tietomallin muodostamisessa tulee olla tiedossa tietomallin tarkkuustaso. Jos tarkkuustasoa ei ole määritelty, on vaikea arvioida kuinka tarkasti tietomalli on toteutettava. Tämä voi aiheuttaa ristiriitoja suunnitteluvaiheessa, jos osa suunnitelmista toteutetaan CAD-pohjaisesti ja osa tietomallipohjaisesti.

Tietomallipohjaisessa suunnittelussa mallintaminen voidaan saada tehokkaaksi kun alusta alkaen noudatetaan perusreunaehtoja:

- mallinnetaan pelkästään sitä asiaa mitä suunnitellaan
- mallinnetaan pelkästään ne asiat jotka on suunniteltu
- pyritään pitämään kaikki tieto tietomallissa
- pyritään pitämään kaikki tieto yhdessä, mutta ei välttämättä samassa mallissa
- pyritään ottamaan huomioon tietomallin vastaanottaja
- vältetään keskinäistä kilpailua
- arvostetaan tekemäänsä ja muiden tekemää tietomallia.
- kaikkia tietoja ei ole pakko saada tietomalliin jos ne ovat helpommin tulkittavissa muulla tapaa.

#### 4.2.1 Lähtötietomalli

Tietomallipohjaisessa suunnittelussa lähtötietomalli tulee olla käytössä aikaisemmassa vaiheessa kuin perinteisellä suunnittelu tavalla toteutetussa suunnittelussa. Lähtötietomallin käyttökelpoisuus kärsii huomattavasti, jos siitä löytyy jatkuvasti virheitä, jolloin malliin ei voida enää luottaa. Riippuu paljon käyttötarkoituksesta kuinka tarkka lähtötietomallin tulee olla. Suunnittelijan kannalta on kuitenkin oleellista saada jollakin tapaa luotettavaa mittatietoa lähtötietomallista siten, että uudet rakenteet saadaan sijoitettua oikeaan sijaintiin rakennuksessa. Onkin oleellista miettiä palveleeko kaikkien vanhojen rakenteiden mallintaminen jatkosuunnittelua.

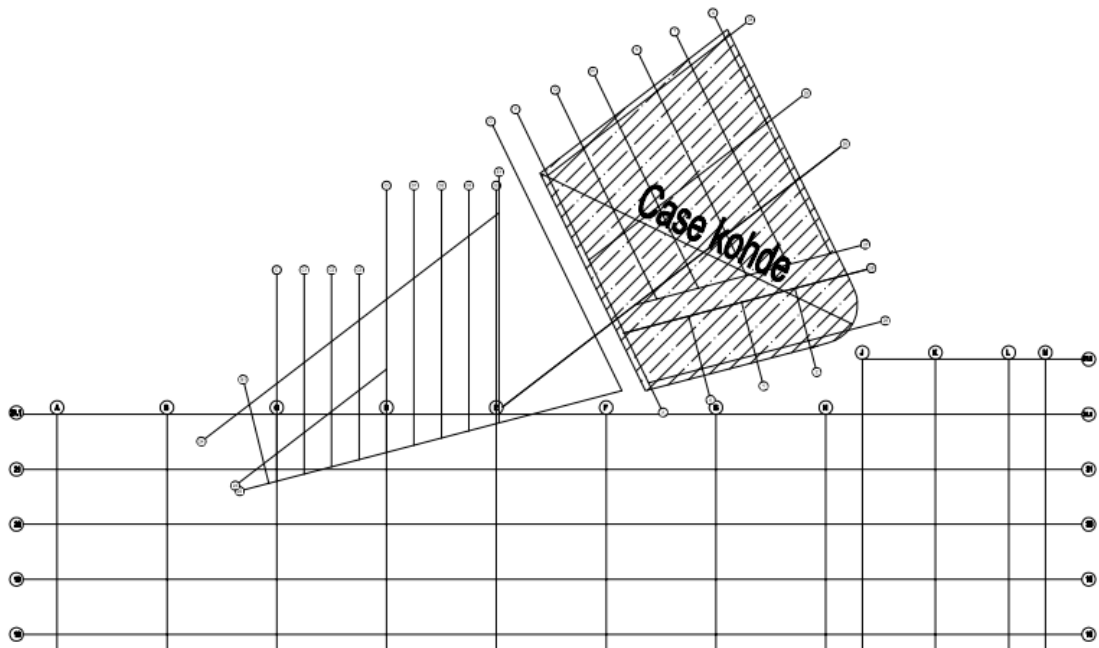
Lähtötietomallilla on eri merkitys hankkeen eri osapuolille. Esimerkiksi rakennuksen omistajalle ei lähtötietomallista ole suurta merkitystä vaan lähtötietomalli on suunnittelijoiden suunnittelutyön pohja. Lähtötietomallin tarkkuus riippuu mallin käyttötarkoituksesta ja kuinka tarkka mallin tulee olla.

Lähtötietomallia muodostettaessa on huomioitava, kuka mallin tekee. Jos lähtötietomallin tekemiseen käytetään eri mallinnusohjelmaa kuin suunnittelijan käyttämä mallinnusohjelma, voi muokattavien rakenneosien tietoihin syntyä eroja ja ristiriitoja. Tällöin onkin harkittava käytetäänkö lähtötietomallia sellaisenaan vai onko suunnittelijan kannattavampaa tehdä lähtötietomallin pohjalta oma malli, jonka muokkaaminen olisi huomattavasti yksikertaisempaa.

Lähtötietomallia muodostettaessa korostuu olemassa olevien rakenteiden mittaustiedot, jotka ovat vanhojen suunnitelmien pohjalta ainoa tieto rakenteiden tarkoista sijaintitiedoista. Olemassa olevista rakenteista ei voitu saada kaikkia sijaintitietoja tarkasti selvitettyä, jolloin osa sijaintitiedoista jouduttiin arvioimaan mittausdatan ja olemassa olevien suunnitelmien pohjalta. Lähtötietoja syöttäessä tulisi olla oma valikko, jolla voidaan ilmaista luotettava tieto ja arvioitu tieto.

Lähtötietomallia muodostettaessa kohteeseen ei eritelty rakenneosia jotka ovat mittausten perusteella asemoitu kohdalleen ja osia, joiden sijainnit on arvioitu vanhojen suunnitelmien pohjalta. Tosin rakenteiden toisistaan erottamisesta tulisi haastava tehtävä sillä rakenteen sijainnista saattaa osa olla tiedossa ja osa rakenteesta on arvioitu olemassa olevien suunnitelmien pohjalta. Esimerkkinä voidaan pitää anturoita, joiden korkeussijainti vaihtuu rakennuksen eri sivuilla. Rakenneavauksia tehtiin joka sivulta yksitän, jolloin voidaan ainoastaan arvioida, että mittauspisteiden välillä korkeussijainti vaihtuu ilman, että muutoskohta tiedetään tarkasti. Tämä tulee aiheuttamaan tulevaisuudessa pienen ongelman jolloin joudutaan olettamaan, että kaikkien vanhojen olemassa olevien rakenteiden sijainti on epävarma.

Kohteessa suurimmaksi ongelmaksi muodostui se, että lähtötietoaineisto oli sidottu koordinaattijärjestelmään ja tietomalli oli sijoitettu rakennuskokonaisuuden koordinaatistoon. Rakennuskokonaisuuden koordinaatisto ei ollut kohtisuorassa Case kohteeseen nähden aiheuttaen rakenteiden mallinnuksessa lisähaasteita. Kuvassa 40 on havainnollistava esitys koordinaattien erosta.



**Kuva 40.** Ote Case kohteen koordinaatisto (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).

#### 4.2.2 Geometria ja materiaalitiedot

Tietomalliohjeissa on annettu suurimmat sijaintipikkeamat olemassa oleville rakenteille. Näiden ohjeiden mukaan mittatarkkuus saa olla enintään rakennusosien nurkkapisteiden osalta 10 mm, pinnoilla (esim. seinissä ja latioissa) tarkkuus saa olla 25 mm, epä säännöllisten rakenteiden (esim. vesikattojen) osalta tarkkuus saa olla 50 mm.

Tietomalliohjeissa on määritelty, että objektit tulee luoda niille tarkoitetuilla työkaluilla. Vanhojen rakenneosien osalta ei näin kuitenkaan voida aina toimia ja ohjeita joudutaan



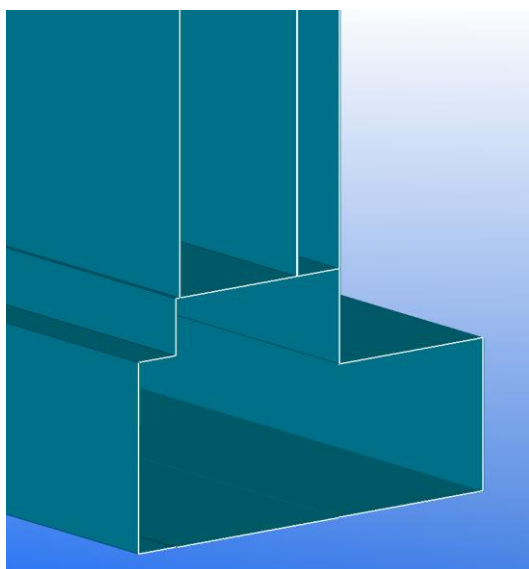
soveltamaan niin, että tietomalliohjeiden vaatimukset täyttyvät. Tietomallivaatimusten mukaan rakenneosat kuten laatat tulee mallintaa laattaobjektina, jolloin objekti saa tietomallivaatimusten mukaiset laattarakenteen säännöt.

Case-kohteessa havaittiin, etteivät ulkoseinät ole joka kohdasta tasapaksuja vaan ne sisältävät suuriakin paksuusvaihteluita. Nämä paksuusvaihtelut ylittivät osittain tietomallivaatimusten 25 mm raja-arvot.

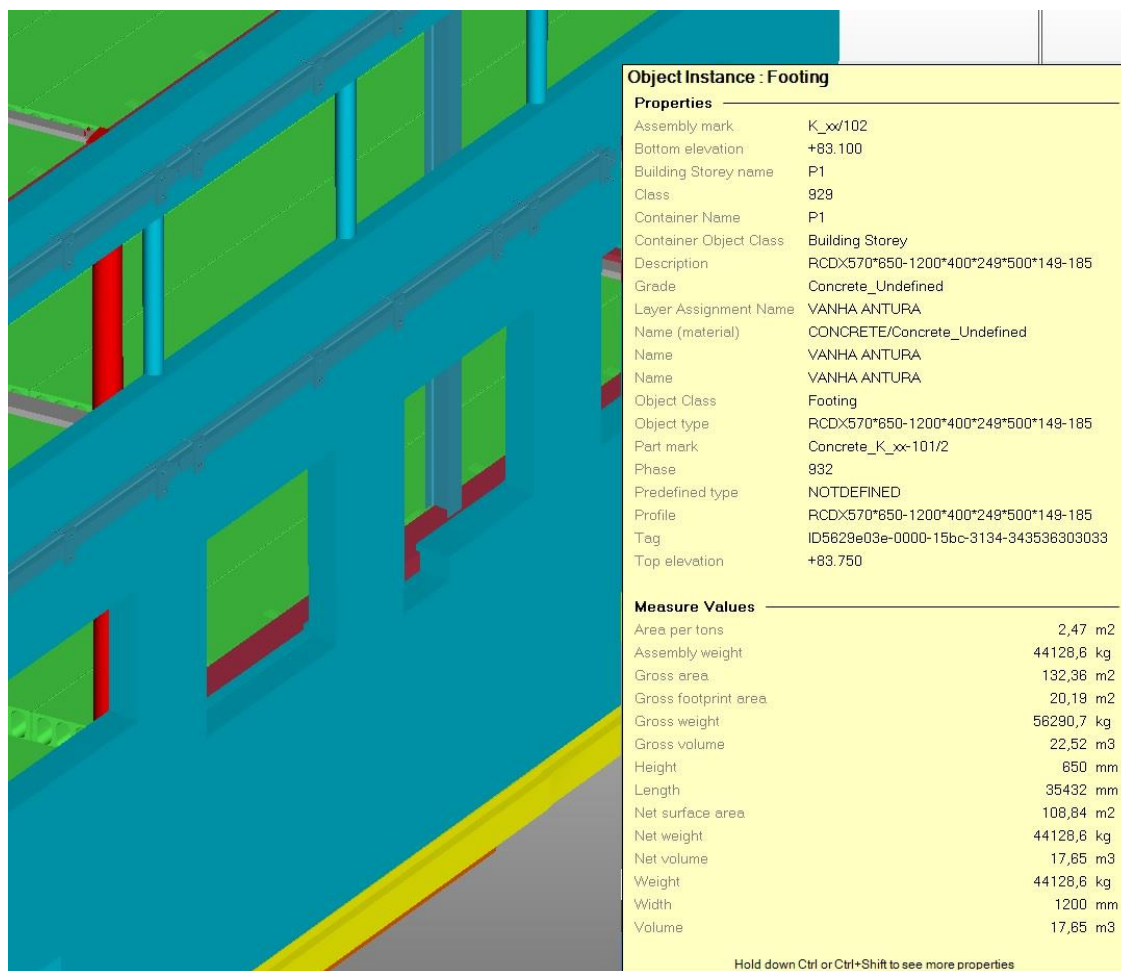
Seinätyökalua käytettäessä ei voitu saada riittävän tarkkaa ja selkeää rakennetta, jolla seinien paksuserot voitiin saada oikein toleranssien mukaisesti tietomalliin. Kohteessa päädyttiin kokeilemaan seinien mallintamista laattatyökalulla ja pakottamalla manuaalisesti laattarakenne seinärakenteeksi. Tällä tavalla seinärakenne saatiin tietomallivaatimusten sääntöjen mukaiseksi ja objekti oikeanmuotoisena tiedonsiirto formaattiin.

Seinärakenteen geometria toteutettiin mallintamalla seinä laattatyökalulla. Laatan paksuus tuli seinän korkuisena ja valitsemalla mittaustuloksista seinien tarkat vaakasuuntaiset sijaintitiedot. Kohteen muille rakenneosille oli myös käytettävä samaa periaatetta kuin seinärakenteessa. Maanpainesseinät muodostuivat betonimuurista ja sisäpuolisesta tiiliverhouksesta, joka on osa kantavaa yläpuolista rakennetta. Betonimuuri ja tiiliverhous mallinnettiin omina rakenteina, kuten kuvasta 41 voidaan havaita.

Esimerkiksi anturat olivat monimuotoisia ja ne oli helpoin mallintaa palkkiobjekteilla, jotka manuaalisesti pakotettiin vastaamaan anturan tietomallivaatimuksia. Kuvassa 41 esitetään anturan malli ja kuvassa 42 on esitetty anturan tiedot IFC -tiedonsiirtoformaattista mallin katseluun soveltuvalla ohjelmistolla.



**Kuva 41.** Ulkoseinien antura (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).



**Kuva 42.** Tiedonsiirtoformaattissa näkyvät materiaalitiedot (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).

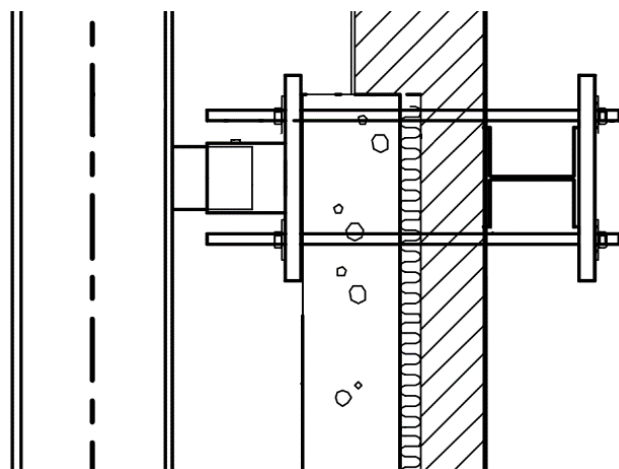
Tietomallin mallinnustavasta ja ohjelmiston toimintaperiaatteesta johtuen tilavuusobjektit voivat mennä päällekkäin tai niiden väliin voi jäädä tyhjiä kohtia. Nämä kohdat korostuvat erityisesti kaarevapintaisissa rakenteissa. Olemassa olevien rakenteiden kohdalla tuleekin harkita, voidaanko osien väliin jättää tyhjä tila vai onko rakenteet mallinnettava niin, että osat ovat päällekkäin. Päällekkäin menevät objektit joudutaan yksitellen käydä muokkaamassa leikkaustyökaluilla halutun muotoiseksi objektiksi ja saada tällöin todellisuuden näköinen rakenteiden yhtymäkohta.

Olemassa olevien rakenteiden materiaalitiedot talletettiin objektien user defined attributes -valikossa. Tietojen esittäminen paperilla tarvitsee loogista järjestystä, jotta tiedetään hakea oikea tieto objektin user defined attributes -valikon tietokentästä. Luvun 3.5 ”Olemassa olevien rakenteiden materiaalitiedot ja detaljoinnit” kuvassa 34 on Tekla Structures -ohjelman valikkovaihtoehtot tietojen syöttämiselle. Nämä tiedot voidaan saada myös näkyviin tiedonsiirtoformaattissa kuten esimerkiksi kuvassa 42.

Jos tietoa joudutaan lisäämään paljon, on tieto selkeyden vuoksi parempi jakaa eri valikoihin. Tällöin jää herkästi joku materiaalitieto pois piirustuspuolelta, kun tiedonsiirtoformaattissa on tieto nähtävissä. Vertaamalla tietomallin tietoja suunnitelmapiirustuksiin voi tästä johtuen aiheutua pieniä ristiriitoja osien materiaalitietojen osalta. Esimerkiksi, jos olemassa oleva rakenne sisältää haitta-aineita, jotka eivät näy paperitulosteessa, ei urakoitsija huomaa tietomallissa olevaa tietoa haitta-aineista. Eikä tällöin osaa käsitellä rakennetta haitallisia aineita sisältävän rakenteen mukaisesti.

### 4.2.3 Uusien rakenteiden sovittaminen olemassa oleviin rakenteisiin

Uusia rakenteita sovitettaessa tietomalliin ei aina voida luotettavasti tietää liittyvän rakenteen tarkkaa sijaintia, ellei mittauspiste kohdistu suoraan liitoskohtaan. Tarkan tiedon selvittäminen ei kuitenkaan aina ole taloudellisesti kannattavaa saatavaan hyötyyn nähden. Onkin hyödyllisempää toteutuksen onnistumisen kannalta käyttää esivalmistetuissa rakenteissa liukuvaa liitostapaa tai katkoa osat työmaalla oikeisiin mittoihin. Betonirakentamisessa voidaan käyttää paikallavalurakenteita. Case-kohteessa käytettiin ulkoseinälinjoilla paikallavalukaistoja ja ulkoseinien tukiristikoiden liitoksissa ulkoseinärakenteeseen käytettiin liukuvaa tukirakennetta kuvan 43 periaatteen mukaan.



**Kuva 43.** *Ulkoseinien tukiristikon liitosperiaate ulkoseinärakenteeseen (kuva: A-Insiinöörit Suunnittelu Oy)*

Tietomallipohjaisella suunnittelulla voidaan helpommin havainnollistaa liittyvien rakenteiden sijaintitietoja ja samalla voidaan arvioida etukäteen tulevia ongelmapaikkoja, jotka jäisivät CAD-suunnittelussa herkästi huomaamatta. Case-kohteesta pystyttiin ennakkoimaan osa ongelmapaikoista ja varautumaan paikkoihin uusien rakenteiden suojaetäisyyksiä kasvattamalla. Samalla voitiin urakoitsijalle esittää ongelmapaikat kolmiulotteisesti. Tällä tavalla myös urakoitsija sai hyvän kuvan mahdollisista ongelmapaikoista ja osasivat ennakolta varautua näihin paikkoihin sekä ylimääräisiin rakennustoimintoihin.

Uusien rakenteiden sovittamisella olemassa oleviin rakenteisiin ei ole suurta eroa CAD-pohjaisen ja tietomallipohjaisen suunnittelun välillä. Ero korostuuakin varsin hyvin kokonaisuuden havainnollistamisessa. Eritoten siitä kuinka julkisivujen väliaikaiset tukirakenteet sijoittuvat olemassa oleviin purettaviin ja uusiin rakenteisiin nähden.

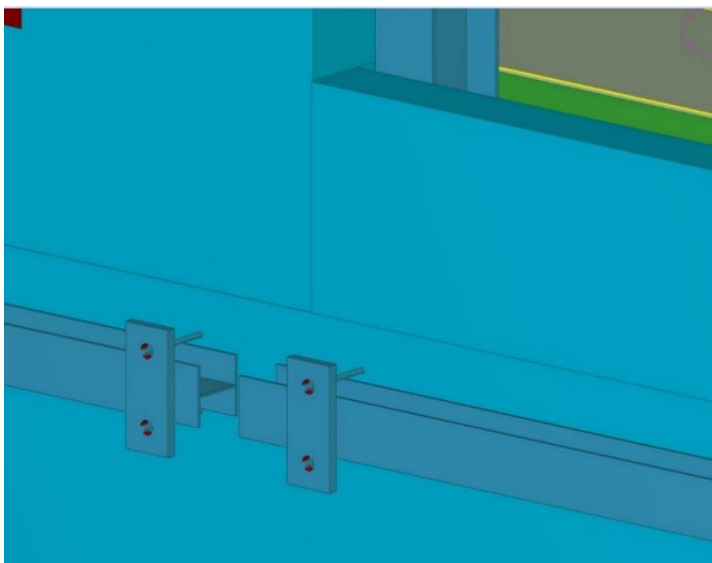
Case-kohteessa ei kuitenkaan mallinnettu vanhojen holvien purettavia rakenteita. Tukirakenteiden kohdalta holvit aukaistiin tarvittavilta osin, samalla tässä vaiheessa tukirakenteiden tielle tulevat palkit purettiin. Kohteen välipohjien rakenteet poikkesivat toisistaan, jolloin välipohjien palkkilinjat olivat epäsymmetrisesti eri kerrosten välillä. Tästä johtuen osa vanhoista purettavista palkeista oli hyvä mallintaa havainnollistamaan niiden tarkkaa sijaintia ja samalla saatiin tukirakenteet sijoitettua olemassa olevaan runkoon mahdollisimman vähällä esipurulla. Tietomallista voitiinkin helposti havaita esipurkutöiden laajuudet ja samalla tietomallinnus helpotti uusien väliaikaisia rakenteiden asemointia, jolloin uudet väliaikaiset rakenteet voitiin siirtää niin, etteivät ne törmää vanhoihin ja uusiin palkkeihin.

Case-kohteen ja tutkimustyön aikataulullisista eroista johtuen rakennusmittausten ja uusien rakenteiden sovittamisesta ei saatu konkreettisia tuloksia. Yksittäisien rakenneosien perusteella voidaan todeta lähtötietomallivaatimusten mukaisen 25 mm seinärakenteen mittaustoleranssin olevan riittävä tarkkuus näkyville rakenneosille. Kokonaisuutta ajatellen yksittäisten rakenneosien tarkastelua ei voida pitää tarpeeksi luotettavana tietona antamaan todellista kuvaa sijaintitarkkuuksista.

### 4.3 Tietomallin ja suunnitelmien tulkinta

On tärkeää luoda olemassa oleville rakenteille omat class-luokat. Class-luokilla voidaan helposti havainnoida rakenteet, jotka ovat olemassa olevia, purettavia ja mitkä ovat uusia. Kohteessa valittiin olemassa oleville rakenteille oma class-sarjansa, jota ei ollut millään uudella osalla käytössä. Visuaalista havainnointia varten olisi hyvä jos vanhat ja uudet rakenteet olisivat omina värisävyinä, jolloin ne voitaisiin helposti havaita tietomallista pelkän värisävyyn perusteella.

Kohteessa vanhojen rakenteiden class:n värisävyksi määräytyi harmaan sininen kuvan 44 mukaisesti. Julkisivun tuentapalkit mallinnettiin yleisten sääntöjen mukaan omaan class-luokkaan. Rakenteiden class-luokkien värisävyt olivat kuitenkin lähellä toisiaan, jolloin läheiset värisävyt aiheuttaa havainnollistamismielessä pieniä haasteita. Mallia kauempaa katsottaessa ei näitä objekteja voinut kunnolla erottaa toisistaan. Valitsemalla osan tiedot voitiin osien tiedoista nähdä onko osa uusi vai vanha rakenne. Kuvassa 44 on havainnollistava esitys osien samankaltaisista värisävyistä.

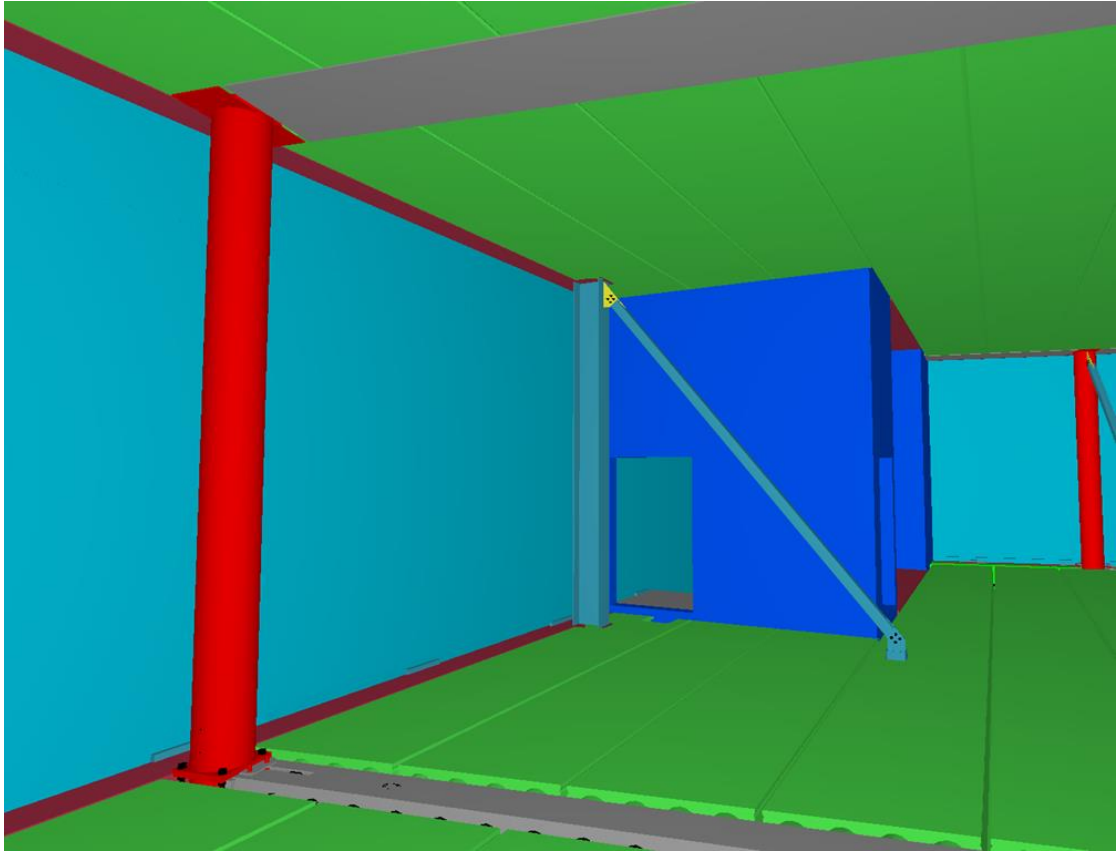


**Kuva 44.** Class luokkien värisävy erot (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).

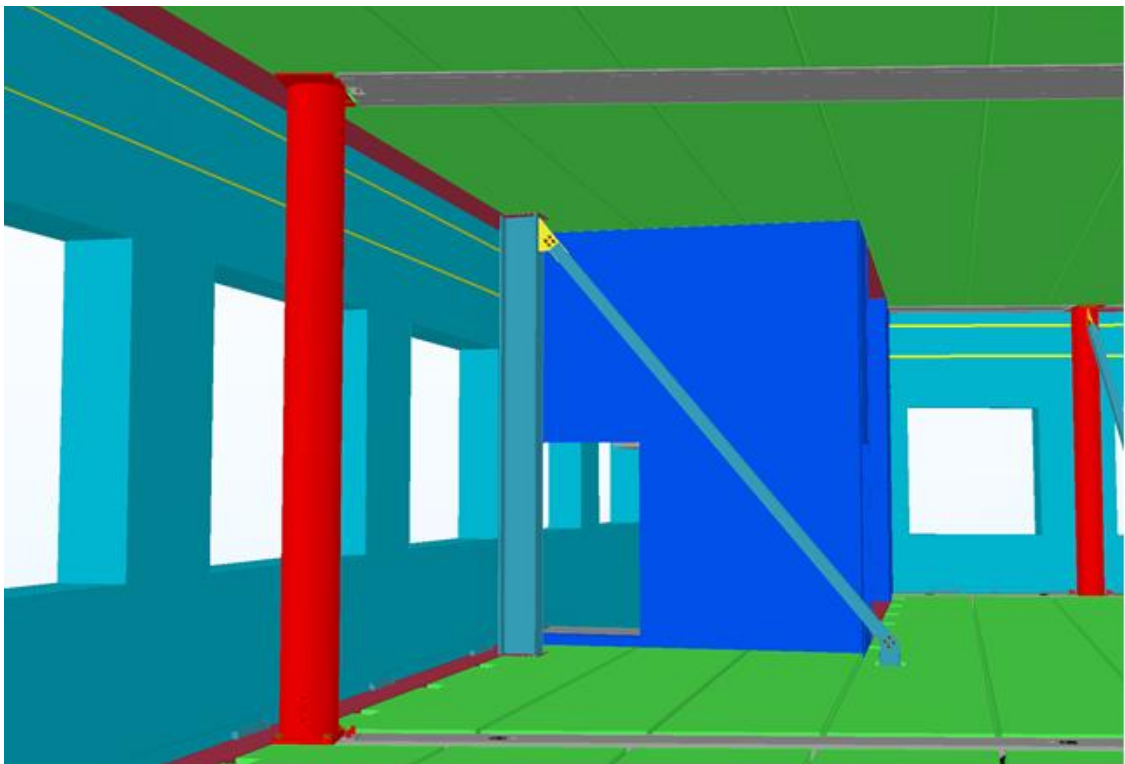
Classien värisävyjä voidaan tosin myös muuttaa luotaessa IFC-tiedostoja. Classien värisävyjen muuttamiseen tulisi tietää kaikki mallissa käytettävät class-luokat sekä niiden värit. Classien värimuutokset jouduttaisiin muuttaa yksitellen. Samalla värisävyt tulisivat pysyä muuttumattomana myös myöhemmin luoduissa IFC-tiedostoissa. Jos värisävyt muuttuvat rakentamisen aikana voi tietomalliin tulla herkästi visuaalisia ristiriitaisuuksia. Esimerkiksi olemassa olevan rakenteen värisävy muutetaan punaisesta siniseksi ja purettavat rakenteet muutetaan punaiseksi. Jos oletetaan, että kaikki punaisen sävyt ovat purettavia ja IFC-tiedosto luodaan vahingossa väärillä värisävyillä, voidaan tällöin tietomallista tulkita säilytettävä rakenneosia purettavaksi rakenteeksi, pelkän värin perusteella.

Asiaan tarkemmin perehtyen suunniteltujen tietojen tietomallipohjainen tulkinta tarvitsee urakoitsijalta IFC-tiedoston lukuohjelmiston hallintaa ja hyvää tietomallin tulkinta kykyä. Silti on mahdollista, että osa rakenneosien tiedoista voi jäädä tietomallin tulkitsijalta huomaamatta tai tieto on voinut jäädä kokonaan antamatta objektille. Samalla ongelmaksi voi muodostua eri lukuohjelmistojen yhteensopivuusongelmat. Kohteesta luoduissa IFC-tiedostoissa oli suuriakin visuaalisia poikkeamia eri lukuohjelmien välillä. Näiden eroavaisuuksien syitä ei tutkielmassa käydy läpi.

Tutkimuksessa tehtiin vertailua kahden eri ICF-pohjaisen katseluohjelman välillä. Molemmilla ohjelmistoilla avattiin sama IFC-tiedosto ja ohjelmistoilla kuvatut näkymät on esitetty kuvissa 45 ja 46. Kuvasta 45 voidaan lähes heti havaita, että osa objekteista ei näy oikein. Suurimpana huomiona on, että lähes kaikki aukot puuttuvat osittain tai kokonaan. Toisella IFC-lukuohjelmalla aukot näkyvät lähestulkoon oikein. Eroavaisuuksia oli myös eri objektien esitystavassa. Kuvassa 46 eri katseluohjelmistolla on sama tiedosto avattuna ja kuvattuna lähes samasta kohtaa kuvan 45 kanssa. Tällä ohjelmalla avattuna lähes kaikki objektit näkyivät oikein.



**Kuva 45.** IFC katseluohjelman näkymä ohjelmasta 1 (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).



**Kuva 46.** IFC katseluohjelman näkymä ohjelmasta 2 (kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy).

Luovutettaessa mallia työmaan tai erikoissuunnittelijoiden käyttöön on tiedostettava minikäläistä katseluohjelmaa he käytettävät ja millä ohjelmalla tietomalli on luotu, samalla on myös tuotava esille mahdolliset riskit mallinnus ja katseluohjelmien välillä. IFC-tiedostojen katseluohjelmistot kehittyvät jatkuvasti ja onkin lähes mahdotonta verrata kaikkia lukuohjelmia suunnittelijoiden käyttämiin mallinnusohjelmiin. Jos työmaa käyttää enimmäkseen tietomallia voi osa rakenteista näkyä väärin tai puuttua kokonaan. Tietomallin puutteet voivat pahimmillaan aiheuttaa, että osa rakennuksen rakenteellisesti kantavia rakennneosia puretaan tai ne jäävät tekemättä aiheuttaen pahimmillaan rakennuksen osittaisen sortumisen.

Tietomallia tulkittaessa voi olla ongelmia mallin rajauksessa ja suodattamisessa. Jos tietomalliselosteessa ei ole kuvattu tietomallin rakennetta ja sisältöä riittävän tarkasti voi käyttäjä vahingossa suodattaa olennaista tietoa pois näkyvistä. Suodatetussa tiedossa voi olla olennaista tietoa korjattavasta rakenneosasta tai rakenneos voi suodattua kokonaan pois näkyvistä aiheuttaen tahattomasti työmaan järjestelyissä ongelmia, viivytyksiä tai pahimmassa tapauksessa rakenteiden sortumista.

Suurin osa korjaussuunnittelun lähtötiedoista on kuitenkin vielä järkevämpää pitää perinteisessä asiakirjamuodossa, jota korjaussuunnittelija ja urakoitsija pystyvät hyödyntämään. Esimerkiksi rakenteiden haitta-ainepitoisuuksia ei ole kannattavaa esittää jokaiselle rakenneosalle vaan se on hyvä tulkita kirjallisesta aineistosta.

Perinteisesti tuotettujen CAD-pohjaisten suunnitelmien ja tietomallista tuotettujen suunnitelmien välillä ei tullut kovinkaan suurta eroa jos vain on aikaa tehdä tietomalli kunnon. Suurin eroavaisuus onkin päällekkäisten rakenteiden osalla, jolloin osat jotka eivät ole oleellisia tuotettuun kuvaan nähden ja tulevat häiritsevästi näkyviin tulosteessa. Ongelma muodostuukin silloin kun jostain osasta halutaan näkyviin vain osa ja rakenteesta osa ei saisi näkyä.

Tietomallipohjaista suunnittelua voi myös tehdä useampi suunnittelija samanaikaisesti. Suunnittelua tehdessä on selvästi sovittava, kuka päivittää mitäkin osaa tietomallissa. Kun tietomallia päivittää useampi suunnittelija, voivat he tietämättään muuttaa samaa objektia, jolloin ei voida pitää varmana kumman suunnittelijan muutokset jäävät suunnitelmiin tai mitä osalle tapahtuu ristiriitapauksessa. Yleensä tietomallinnusohjelmat kuitenkin varoittavat näistä ristiriitaisuuksista. Jos muutoksia on tehnyt useampi eri suunnittelija voi mahdollisten ristiriitojen selvittäminen olla työlästä.

Tietomallin puolella tehtävät muutokset päivittyvät automaattisesti piirustuspuolelle. Kun tiedot päivittyvät myös piirustuspuolelle voidaan välttyä suunnitelmaristiriidoilta. Esimerkiksi jos tietomallipohjaisesti toteutetaan sekä rakennesuunnitelmat ja purkus suunnitelmat, tulevat samat uudet purettavat aukot molempiin suunnitelmiin, jolloin ne ovat yhtenevät aukon kohdalta. Tällöin tulee huomioda, jos toinen suunnitelma on toteutus suunnitelma ja toinen vasta luonnossuunnitelma voi herkästi toinen suunnitelma jäädä

tulostamatta. Tämä korostuukin varsin hyvin isoissa usean rakennesuunnittelijan koh-teissa, joissa toinen suunnittelija suunnittelee toteutussuunnitelmia ja toinen suunnittelija on suunnitellut purkusuunnitelmat.

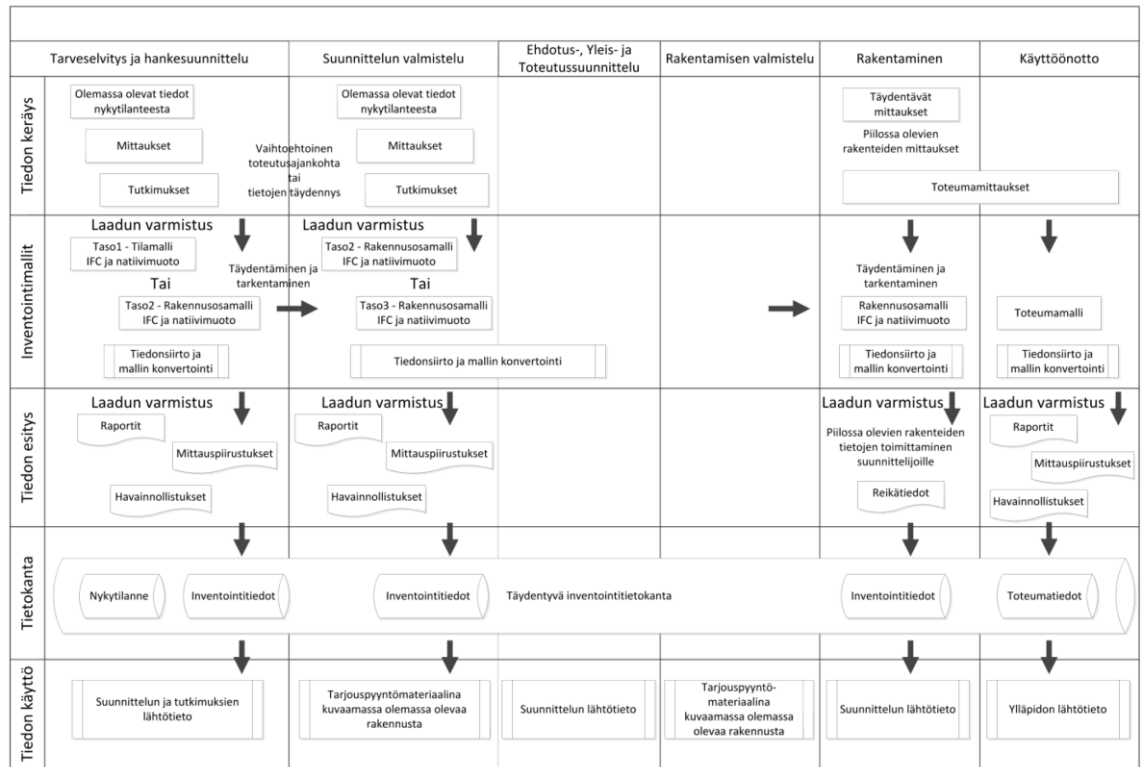
On tärkeää huomioida suunnitelmapiirustusten tuottamiseen tarvittavat erilliset tekstiviit-taukset. Suunnitelmissa tarvitaan tekstiviittauksia ja manuaalisesti tehtyjä lisäyksiä, jotka ovat oleellisena vaatimuksena tuottaa perinteinen suunnitelmapiirustus myös tietomallin-tamalla toteutetusta suunnitelmasta. Manuaalisesti lisäämällä tietoa suunnitelmiin aiheu-tetaan tahattomasti ristiriitojen tietomallin ja paperisen suunnitelman välillä, jolloin osa tiedoista on annettu ainoastaan paperisuunnitelmissa. Ristiriitaisuuksien välttämiseksi on parempi tapa antaa tiedot objektin UDA -kenttiin. UDA -kenttiä on kuitenkin rajoitetusti ja samalla UDA -tiedoilla tapahtuvaan tiedon välittämiseen liittyy myös riski siitä, löy-tääkö suunnitelmien jatkokäyttäjä hänelle suunnatun tiedon. Tämän johdosta tietomal-liselostuksen rooli korostuu entisestään.

#### **4.4 Tietomalliohjeet korjausrakentamisessa**

Tietomalliohjeissa käsitellään pääasiassa uusien rakenneosien mallintamista. Olemassa olevien rakenteiden osalta ohjeet jättävät paljon tulkinnan varaa. Tosin tietomalliohjeissa on oma lukunsa lähtötietomallin tuottamiselle, jossa käsitellään tietomallin muodosta-mista suurimmilta osin rakennussuunnittelun näkökulmasta. Kuvassa 47 on esitetty esi-merkki inventointimallin vaiheistuksista.

Tietomalliohjeita tulisi päivittää tietomallipohjaisen suunnittelun lisääntyessä ja suun-nittelutapojen kehittymisen mukana, jolloin saadaan yhtenäiset ohjeet tilaajille ja suun-nittelijoille. Nykyisillä suunnittelukäytännöillä tietomalliohjeita sovelletaan eri tilantei-siin sopivalla tavalla. Soveltaminen aiheuttaakin hyvin eritasoisia suunnitelmia suunnit-telutoimistosta ja suunnittelijasta riippuen.





**Kuva 47.** Esimerkki inventointimallinnuksen vaiheistuksesta rakennushankkeessa [36].

## 5. YHTEENVETO

### 5.1 Yleistä

Tietomallipohjaisen rakennesuunnittelun osuus korjausrakentamisessa on vielä varsin vähäistä verrattuna perinteiseen CAD-pohjaiseen rakennesuunnitteluun. Tietomallipohjaisen suunnittelun osuus on kuitenkin kokoajan kasvamassa korjausrakentamisen osa-alueella. Vaikka tietomallipohjaisen suunnittelun osuus on kasvamassa, ei kaikilla korjaushankkeen osapuolilla ole kuitenkaan tietoa tietomallintamisen hyödyistä.

Tutkimuksen lähtökohtana oli toteuttaa rakennuksen korjausrakennesuunnitelmat tietomallipohjaisesti ja samalla kerätä lähdeaineistoa, jota voidaan hyödyntää tietomallipohjaisessa suunnittelussa. Tutkimuskohteena oli todellinen rakennus, josta toteutettiin rakennesuunnitelmat tietomallipohjaisesti.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää olemassa olevien rakenteiden selvitystekniikat ja kuinka materiaalitiedot voidaan esittää tietomallissa sekä tuotetuissa rakennesuunnitelmissa. Tutkimuksessa käsitellään myös osa-alueita, jotka ovat oleellisia osa-alueita tietomallipohjaisen korjaussuunnitteluprosessin läpiviemisessä.

Tutkimuksen korjaussuunnitelmien laadinta toteutettiin Tekla Structures –ohjelman versiolla 20.0. Ohjelma on yleisesti käytössä tietomallipohjaisessa rakennesuunnittelussa. Tutkimuksessa tehdyt havainnot pohjautuvatkin yksittäiseen ohjelmaan sekä yhden suunnittelukohteen suunnittelussa saatuihin havaintoihin. Tutkimuksen tuloksista ei kuitenkaan voida tehdä ohjelmistokohtaisesti riippuvia johtopäätöksiä sillä ohjelmistot kehittyvät jatkuvasti ja eri suunnittelutoimistoilla on lisäksi omia ohjelmistokohtaisia sovelluksia, joilla voidaan nopeuttaa ja parantaa suunnittelutyön laatua. Suunnittelussa tulee myös tiedostaa, että jokaisen korjausrakennuskohteen suunnittelu on erilainen, toteutettiinpa rakennesuunnittelu tietomallipohjaisesti tai perinteisemmin CAD-pohjaisesti.

### 5.2 Tutkimuksen havainnot

Korjausrakennushankkeessa tietomallipohjainen rakennesuunnittelu elää vielä kehitysvaiheessa jossa tietomallintaminen ja toimintatavat hakevat vielä toimivia käytäntöjä. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa suunnittelijoiden työnjaot voivat muuttua verrattuna perinteiseen CAD-pohjaiseen suunnitteluun, jonka seurauksena päärakennesuunnittelijalle voi siirtyä aiempaa enemmän tuoteosasuunnittelijalle kuuluneita tehtäviä, samalla kun tuoteosasuunnittelijan työmäärä vähenee.

Tietomallipohjaisen suunnittelun yleistyessä on tärkeää muistaa, että järjestelmät ja tietokoneohjelmistot eivät saa ohjata suunnittelua vaan niiden on oltava joustavia sekä niiden tulee taipua mitä erilaisimpiin suunnitteluratkaisuihin. Tietomalliperusteinen suunnittelu ei myöskään tarkoita valmiiden palikoiden kokoamista vaan tuoteosien tulee sisältää tuote- ja rakennusosien tiedot. On kuitenkin syytä ymmärtää ettei tietomallintaminen koske pelkästään rakennesuunnittelua vaan kaikkia eri suunnittelualoja vaikuttaen rakennusprosessissa rakentamisajasta aina rakennuksen elinkaaren loppuun.

Olemassa olevien rakenteiden selvityksillä voidaan tarkoittaa eri asioita. Selvityksillä voidaan tarkoittaa rakenteiden sijaintitietojen selvittämistä tai rakenteiden materiaalien ja ominaisuuksien selvittämistä. Nämä selvitykset ovat suuressa roolissa korjaustoimenpiteitä valittaessa, joiden lisäksi mittaustiedot ovat lähes ainoa luotettava tieto täydentämään vanhoja rakennesuunnitelmia. Tietomallipohjaisen suunnittelun lähtötiedoiksi on hyvä käyttää 3D-pohjaisia mittaustekniikoita, joilla voidaan suoraan saada tarvittavat kolmiulotteiset sijaintitiedot mitattavasta kohteesta.

Lähtötietomalli on suunnittelutyön pohja, minkä vuoksi lähtötietomallin tekemiseen on kiinnitettävä suurta huomiota ja lähtötietomallin tulee olla suunnittelijoiden käytössä aikaisemmassa vaiheessa kuin perinteisemmällä menetelmällä toteutetussa suunnittelussa. Lähtötietomallin muodostamisessa suurin osa aikaa kuluu lähtötietojen hankkimiseen ja niiden oikeaoppiseen tulkintaan. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa korostuu lähtötietomallin luotettavuus sillä hyvin tehdyllä lähtötietomallilla voi suunnittelutyön määrä olla huomattavasti uudisrakentamista pienempi. Toisaalta jos lähtötietomalli on puutteellinen tai se puuttuu kokonaan voi mallintamiseen kuluva aika olla paljon suurempi kuin uudiskohteessa.

Lähtötietomallia muodostettaessa korostuu olemassa olevien rakenteiden mittaustiedot, jotka ovat vanhojen suunnitelmien pohjalta lähes ainoa tieto rakenteiden tarkoista sijaintitiedoista. Useinkaan kaikista rakenteista ei voida saada tarkkoja mittaustietoja selville, jolloin osa sijaintitiedoista joudutaan arvioimaan mittaustiedon ja olemassa olevien suunnitelmien pohjalta. Näiden rakenneosien erottelu voi olla tietomalliin haastavaa sillä osa rakenteen sijainnista on tiedossa ja osa ei ole tiedossa, jolloin suunnittelun aikana on oletettava, että koko rakenne on arvioitu oikealle sijainnille. Lähtötietomallina voidaan pitää yksinkertaisuudessaan myös mitattua pistepilviaineistoa tai valokuvalla täydennettyä täkymetrimittausta joihin voidaan lisätä mallintamalla yksittäisiä rakenneosia.

Lähtötietomallia luotaessa ja kohteen korjaustoimenpiteitä suunniteltaessa on oltava tiedossa tietomallin tarkkuustaso jota suunniteltavassa kohteessa edellytetään. Näissä tarkkuustasoissa on eroja, joilla voi olla suurehko vaikutusta tietomallintamisen määrään. Samalla hankkeen tilaajien tulisi tiedostaa nämä tarkkuustasot, jolloin saadaan tietomallintamisesta suurin hyöty kaikille osapuolille. Pahimmillaan vaaditaan tietomallintamalla toteutettavia suunnitelmia, vaikkei edes tarkasti tiedosteta mitä tietomallipohjaisella suunnittelulla saavutetaan.

Tarkkuustasoilla voidaan tarkoittaa sijaintitietoja tai rakenneosien sisällöllisiä tarkkuuksia. Sisällöllisillä tarkkuuksilla tarkoitetaan esimerkiksi olemassa olevien betonirakenteiden betoniteräksiä tai liitoksia toisiin rakenteisiin. Olemassa olevista rakenteista ei ole hyödyllistä mallintaa betoniteräksiä vaan on hyödyllisempää mallintaa ainoastaan uusien ja olemassa olevien rakenteiden liittymäkohdilta kaikki yhdistävät rakenteet, kuten purettavasta betonirakenteesta jätettävät, uuteen rakenteeseen liittyvät tartuntateräksiset. Sisällöllisellä tarkkuudella tarkoitetaan myös olemassa olevien rakenteiden sijaintia toisiin olemassa oleviin rakenteisiin nähden. Esimerkiksi mallinnettaessa kaksi samansuuntaista rakenneosaa, jotka ovat osittain irti toisistaan ja osittain menevät päällekkäin, onko tällöin tarpeellista muokata rakenneosia siten, että rakenneosat liittyvät toisiinsa vai antaa pienet päällekkäisyydet olla, jos rakenteiden pinnat ovat oikeilla sijainneilla.

Tietomalliin tulee selkeästi jaotella uudet ja vanhat rakenteet toisistaan. Tämä jaottelu voidaan tehdä yksinkertaisimmillaan antamalla objektien name -kenttää tieto vanhasta rakenteesta. Esimerkiksi olemassa olevalle tiiliseinälle voidaan antaa name -kenttään tieto ”vanha tiilimuuri”. Olemassa oleville rakenteille voidaan myös syöttää muita materiaalitietoja ja onkin tapauskohtaisesti harkittava materiaalitietojen tarpeellisuudesta. Esimerkiksi jos rakenne pitää sisällään haitta-aineita niin onko hyödyllisempää jaotella tietomalliin nämä haitta-aineet vaiko pitää selkeyden vuoksi tiedot omana asiakirjana ja lisätä tietomalliin viittaus haitta-aine asiakirjaan.

Tietomalliohjeissa on määritelty, että objektit tulee luoda niille tarkoitetuilla työkaluilla. Vanhojen rakenneosien kohdalle ei aina näin voida kuitenkaan toimia mallinnustarkkuuksista johtuen. Mallinnustarkkuuksista johtuen joudutaan osa objekteista luomaan eri mallinnustyökalulla ja pakottamalla objektille mallinnettavan osan säännöt. Tällä tavalla luodut objektit muodostuvat oikein tiedonsiirtoformaattiin. Säännöissä on myös määritelty jokaiselle objektityypille oma class-luokka jonka avulla voidaan suodattaa tietoa pois näkyviltä.

Uusia rakenteita sovitettaessa olevassa olevaan runkoon on tunnistettava rakenteiden sijaintiepävarmuudet, sillä jokaisesta liittymäkohdasta ei voida saada tarkkaa mittaustulosta ilman olemassa olevien rakenteiden purkutöitä. Uusien rakenteiden liittymissä on hyvä käyttää betonirakenteissa rakenteissa paikallavalukaistaa reuna-alueilla tai toteuttaa rakenne kokonaan paikallavalurakenteisena. Teräs ja puurakenteissa voidaan käyttää liukuvaa liitosrakennetta, joka sallii pienet sijaintiheitot tai rakenteet voidaan lyhentää työmaalla oikeisiin mittoihin. Liityttäessä uusilla rakenteilla olemassa olevaan rakenteeseen tulee huomioida rakenteissa tapahtuneet liikkeet ja liikuntasaumet. Olemassa olevan ja uusien rakenteiden liike-eroja voivat olla esimerkiksi perustamistavasta johtuvat eroavaisuudet. Eroavaisuutta voi tulla jos vanha rakenne on toteutettu paaluperusteisena ja uusi rakenne on perustettu maanvaraisena perustuksena pienien kuormien vuoksi. Jos rakenteiden liike eroja ei huomioida, voi nämä pienet liikkeet vahingoittaa uusia ja olemassa olevia rakenteita.

Tiedonsiirtoformaattien katseluohjelmissa on joissain tapauksissa suuria eroja, jolloin osa lukuohjelmista ei tunnista kaikkia mallinnettua tietoa, jolloin puuttuvat tiedot voivat aiheuttaa ongelmia työn toteuttajalle. Suunnittelijoiden tulisikin tiedostaa mitä katseluohjelmaa muut tahot käyttävät. Kohteesta tehdyssä IFC-tiedostossa oli suuria eroja rakenteiden osalta. Yhdellä katseluohjelmalla avattuna lähestulkoon mikään aukko ei näkynyt oikein, kun taas toisella ohjelmalla kaikki aukot näkyvät oikein.

Tietomallin hyöty korostuu selvästi visuaalisella puolella, jolloin voidaan havaita helpommin ongelmapaikkoja ja esittää ne myös muille tahoille. Eritoten tämä korostuu vaikeasti hahmotettavissa kohteissa, joita on vaikea hahmottaa ilman kolmiulotteista näkymää. Visuaalinen ilme korostuu myös objektien class:n värisävyissä, joilla voidaan helposti havaita mitkä osat ovat vanhoja, purettavia ja uusia rakenteita. Hyötyä saadaan myös erialisilla raporteilla, jotka ovat tietomallista helposti tuotettavissa jos vain rakenteet ovat luotu oikean kokoisina ja oikeille sijainneille.

Reikä- ja varaussuunnittelun työmäärällä ja vastuulla on suuri vaikutus riippuen varauksien merkkaustavasta. Työmäärä tulisikin huomioida jo tarjousvaiheessa. Tietomallintamalla toteutetussa reikä- ja varauskierrossa on hyötyä rakennesuunnittelijalle sillä on huomattavasti helpompaa hahmottaa reikien tarkat sijainnit kolmiulotteisesti kuin tasokuvista.

Tietomallipohjaisen suunnittelun osaajat uskovat tulevaisuudessa tietomallipohjaisen suunnittelun syrjäyttävän perinteisen CAD pohjaisen suunnittelun. CAD pohjaisesta suunnittelusta tuskin tullaan kokonaan pääsemään eroon sillä korjausrakennushankkeessa joudutaan tekemään yksittäisiä detaljeja ja rakennetyyppejä, joihin tietomallipohjaiset suunnitteluohjelmat eivät vielä kunnolla taivu. Tosin tulee muistaa, että suunnitteluohjelmistot kehittyvät jatkuvasti ja niiden suunniteluominaisuudet paranevat.

### 5.3 Jatkotutkimus- ja kehitystarpeet

Tietomallintaminen on suuri ja vielä varsin tuntematon osa-alue korjausrakennesuunnittelussa. Korjausrakentamisessa tulisikin tutkia tietomallintamisesta saatavia hyötyjä sekä käytäntöjä tietomallintamisen ja paperisuunnitelmien välillä.

Tietomallintamisen kehittymisen myötä myös inventointimallien tarve tulee lisääntymään. Inventointimalleille ei ole annettu tietomalliohjeissa ohjeita, minkälaisella ja millä tiedostomuodolla inventointi malli tulee toteuttaa. Jos suunnittelijat eivät pysty hyödyntämään lähtötilanteen natiivi mallia vaan he joutuvat tekemään tiedonsiirtoformaatin pohjalta oman lähtötietomallin. Tällöin työhön kuluva aika on huomattavasti suurempi verrattuna siihen, että päästäisiin suoraan jatkamaan inventointimallista.

Yleisiä tietomalliohjeita tulisi kehittää käsittelemään kattavammin tietomallipohjaista korjausrakennesuunnittelua, samalla ohjeita tulisikin päivittää jatkuvasti tietomallipohjaisen suunnittelun kehittyessä ja yleistyessä. Tietomalliohjeet antavat hyvän yleisperustan tietomallintamiselle vaikka nykyisellään ohjeet ovat yleisellä tasolla kirjoitettu ja jättävät joltain osin tulkinnan varaa.

Tietomallintamisen mahdollisuuksia ja ongelmia tulisi tuoda enemmän esille, jolloin korjausrakennushankkeen tilaajat voisivat selkeämmin tiedostaa mitä tietomallintaminen on, sekä tietomallintamisen mahdollisuuksia nykyistä hetkeä ja rakennuksen elinkaaren aikaa ajatellen.

Korjausrakennesuunnitelmien laatimisen ohjeita tulisi päivittää tai luoda uudelleen vastaamaan tietomallipohjaisia suunnitelmien tasoa. Nykyisellään suunnitteluohjeissa on määritelty olemassa oleville rakenteille omat esitystavat, joihin kaikki tietomallinnusohjelmat eivät vielä ilman manuaalista muokkaamista taivu. Toisaalta onko tietomalliohjelmistoja kehitettävä siihen suuntaan, että ne tulisivat vastaamaan nykyisiä suunnitteluvaihtimuksia?

## LÄHTEET

- [1] 3D Scan Company verkkosivut. 2015. Viitattu 27.4.2016. Saatavilla: <http://www.3dscanco.com/about/3d-scanning/index.cfm>
- [2] BY42 Betonijulkisivun kuntotutkimus. Helsinki 2013, Suomen betoniyhdistys ry. s63.
- [3] Cailvert, N. Why we care about BIM. Verkkojulkaisu [viitattu 15.1.2016] Directions magazine. Saatavilla: <http://www.directionsmag.com/entry/why-we-care-about-bim/368436>
- [4] Factors afferring accuracy in photogrammetry. Phomodeller. n.d. verkkosivut viitattu 19.4.2016. saatavilla: [http://info.photomodeler.com/blog/kb/factors\\_affecting\\_accuracy\\_in\\_photogramm](http://info.photomodeler.com/blog/kb/factors_affecting_accuracy_in_photogramm)
- [5] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. 2011. BIM Handbook: A Guide to Buildin Information Modeling for Owner, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc. 638 s.
- [6] Haggren, N. Fotogrammetrian yleiskurssi. Espoo 2005. Aalto yliopisto. Julkaise-maton opintomoniste. 17 s.
- [7] Hietanen, T. Tietomallit ja rakennusten suunnittelu. Filosofinen selvitys tieto- ja viestintätekniikan mahdollisuuksista. Tampere 2005. Rakennustieto Oy. 95 s
- [8] Häkkinen, T., Karhu, V., Vares. S., Vesikari. E. Rakennusten elinkaaritekniikka, tuoteinformaatio käyttöiän tueksi. Espoo 2001. Suomen valtiollinen tutkimuskeskus. Saatavilla. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/julkaisut/2001/J848.pdf>
- [9] Kaavoitusmittausohjeet, Maanmittauslaitos Helsinki 2003. saatavilla [http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/kaavoitusmittausohjeet\\_2003\\_0.pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/kaavoitusmittausohjeet_2003_0.pdf)
- [10] Kari, V. Laserkeilaus ja pistepilven käsittely ydinvoimarakentamisessa. Opin-näytetyö. Tampere 2011. Tampereen ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan-koulutusohjelma. 82 s.
- [11] Kiinteistöliiketoiminnan sanasto [verkkodokumentti] [viitattu 15.4.2016]. 2.lai-tos. Helsinki 2012. RAKLI ry. 61 s. saatavissa <http://www.rakli.fi/media/toimiti-lat/kiinteistoliiketoiminnan-sanasto.pdf>
- [12] Kerosuo, H., Miettinen, R., Paavola, S., Mäki, T. & Korpela, J. (2015) Chal-lenges of the expansive uses of Building Information Modeling (BIM) in Con-struction Projects. Preduction Journal (in press).

- [13] Korjausrakentamisen strategia 2007-2017. Helsinki 2007. Ympäristöministeriön raportteja -sarja [verkkajulkaisu]. saatavilla [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41388/YMr\\_28\\_2007.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41388/YMr_28_2007.pdf?sequence=1)
- [14] Kousa, J. Korjausrakentamisen hyvät toimintatavat. Joensuu 2003. VTT, Rakennusteollisuus RT ry. 71 s.
- [15] Laaksonen, J. Haitta-ainepitoisten rakennusmateriaalien käsittely korjaus- ja purku työmailla. Opinnäytetyö. Espoo 2015. Aalto Yliopisto. Materiaalitekniikan koulutusohjelma. 83 s.
- [16] Laurila, P. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet, 4. painos. Rovaniemi 2012. Rovaniemen ammattikorkeakoulu julkaisusarja D nro 3. saatavilla [http://ka.ramk.fi/eJulkaisut/D3\\_Mittaus%20ja%20kartoitustekniikan%20perusteet/RAMK\\_D3\\_lowress.pdf](http://ka.ramk.fi/eJulkaisut/D3_Mittaus%20ja%20kartoitustekniikan%20perusteet/RAMK_D3_lowress.pdf)
- [17] Lindberg, R. Kantavien rakenteiden korjaamien. Tampere 2013. Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaisematon opintomoniste. 17 s.
- [18] Mattila, J. Systemaattinen korjaussuunnittelu. Tampere 2013. Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaisematon opintomoniste. 22 s.
- [19] Mattila, S. Stereomittaus videokuvin. Espoo 2016. Aalto Yliopisto, Fotogrammetrian ja kaukolaboratorion erikoistyö. 23 s. Saatavilla: <http://foto.hut.fi/opetus/290/julkaisut/smattila.html>
- [20] Pankka, R. Digitaalisen fotogrammetrian menetelmien vertailua puustotunnusten estimoinnissa. Joensuu 2007. Metsätieteellinen tiedekunta, Joensuun yliopisto. 80.s.
- [21] Pekkala, Janne. 3D-laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadunvarmistus. Helsinki 2015. Liikennevirasto verkkajulkaisu. s.13-17. saatavilla: [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/Its\\_2015-58\\_3d-laserkeilausaineiston\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/Its_2015-58_3d-laserkeilausaineiston_web.pdf)
- [22] Pentti, M. Kuntotutkimukset, Luentomoniste. Tampere 2014, Tampereen Teknillinen yliopisto. Julkaisematon luentomoniste.
- [23] Penttilä, H., Nissinen, S., Niemioja, S. Tuotemallintaminen rakennushankkeessa. Tampere 2006, Rakennustieto Oy.
- [24] Radontalkoot verkkosivut. Viitattu 27.8.2016. Saatavilla: <http://www.radontalkoot.fi/vuokralaitteet/flir-c2-1%C3%A4mp%C3%B6kameran-vuokraus-3vrk-detail>



- [25] Rakennusteollisuus rt. Asuntokunnan ikäjakauma tilasto [verkkajulkaisu]. viitattu 15.4.2016. Saatavilla <http://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Taloustilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/Korjausrakentaminen/>
- [26] Rakennustieto 2003. RT 10-10387 ohjetiedosto. Talonrakennushankkeen kulku, talonrakennushanke. rakennustietosäätiö.
- [27] Rakennustieto 2014. RT 20-11160 ohjetiedosto. Haitta-ainetutkimus rakennustuotteet ja rakenteet. Rakennustietosäätiö.
- [28] Romo, I., Varis, M. Tuotemallinnus rakennushankkeessa, perusteita ja ohjeita. Pro it projekti 2004. Rakennusteollisuus, Finnmap consulting Oy. 55 s. saatavilla <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/>
- [29] Suomen tilastollinen vuosikirja 2015. 100.vuosikerta. Helsinki 2015. Tilastokeskus. Saatavilla [http://www.stat.fi/tup/julkaisut/tiedostot/julkaisuluetteloyyti\\_stv\\_201400\\_2014\\_10374\\_net.pdf](http://www.stat.fi/tup/julkaisut/tiedostot/julkaisuluetteloyyti_stv_201400_2014_10374_net.pdf)
- [30] Suomen virallinen tilasto (svt), korjausrakentaminen [verkkajulkaisu]. Talonrakennus. ISSN=1799-2958. Rakennusyritysten korjaukset 2014, liitetaulukko 1. [viitattu 8.4.2016]. saatavilla [http://www.stat.fi/til/kora/2014/01/kora\\_2014\\_01\\_2015-11-05\\_tau\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/kora/2014/01/kora_2014_01_2015-11-05_tau_001_fi.html)
- [31] SFS-EN ISO 1990. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki 2009. Suomen standardoimisliitto SFS. 48 s.
- [32] Tekla Users Assistance. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 24.4.2016]. saatavissa: <http://teklastructures.support.tekla.com/>
- [33] Kuinka lämpökamera toimii. Infradex Oy verkkosivut. [viitattu 20.4.2016]. Saatavissa: <http://www.infradex.com/yleistietoa/kuinka-lampokamera-toimii/>
- [34] Vinni, P. Mitä on fotogrammetria. verkkajulkaisu 2003. [viitattu 21.4.2016]. Saatavilla: <http://www.kotikone.fi/faryan/Teksteja/JatkokurssiB.htm>
- [35] Yleiset tietomallivaatimukset 2012, osa 1, Yleinen osuus 10 s. saatavilla: [https://asiakas.kotisivukone.com/files/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012\\_osa\\_1\\_yleinen\\_osuus.pdf](https://asiakas.kotisivukone.com/files/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf)
- [36] Yleiset tietomallivaatimukset 2012, osa 2, Lähtötilanteen mallinnus 32 s. saatavilla: [https://asiakas.kotisivukone.com/files/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012\\_osa\\_2\\_lahtotilanne.pdf](https://asiakas.kotisivukone.com/files/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_2_lahtotilanne.pdf)

- [37] Yleiset tietomallivaatimukset 2012, osa 5, Rakennesuunnittelu. 28 s. saatavilla [https://asiakas.kotisivukone.com/files/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012\\_osa\\_5\\_rak.pdf](https://asiakas.kotisivukone.com/files/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_5_rak.pdf)
- [38] Yleiset tietomallivaatimukset 2012, osa 5, Rakennesuunnittelu mallintarkkuus tilaajan ohje. 9 s. saatavilla [https://asiakas.kotisivukone.com/files/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/YTV2012\\_Taydentava\\_liite\\_RAK\\_Tilaajan\\_ohje.pdf](https://asiakas.kotisivukone.com/files/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/YTV2012_Taydentava_liite_RAK_Tilaajan_ohje.pdf)
- [39] Yleiset tietomallivaatimukset 2012, osa 6, Laadunvarmistus. 9 s. saatavilla [https://asiakas.kotisivukone.com/files/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012\\_osa\\_6\\_laadunvarmistus.pdf](https://asiakas.kotisivukone.com/files/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_6_laadunvarmistus.pdf)
- [40] Valtioneuvosto 2012. Valtioneuvoston asetus jätteistä 179/2012. Helsinki [Verkkodokumentti] Saatavilla <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2012/20120179>
- [41] Valtioneuvosto 2014. Valtioneuvoston asetus rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokkien määrittämisestä 214/2015. Helsinki [Verkkodokumentti] Saatavilla. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150214>